DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

ORGAN DER MAX PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

36. JAHRGANG HEFT 2 (83—64) 1949

INHALT:

Neuere Untersuchungen über die interstellare Materie. Von C. Schalén 33

Gasblasen in Flüssigkeiten. Von R. Seeliger . . 41

Untersuchungen über Kontaktkatalyse. Von A. Eucken 48

Berichte.

Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des pflanzlichen Wachstums. Von H. v. Witsch 53

Kurze Originalmitteilungen.

Zur magnetischen Dreifach-Aufspaltung in der Ionosphäre. Von W. Dieminger und H. G. Möller . . . 56

y-Fe_2O_3 bei Hochfrequenz. Von F. Wagenknecht 57

Über Bis-diazo-alkane. Von H. Lettré und U. Brose 57

Über Beziehungen zwischen Stoffwechselaktivität und Acridinorangespeicherung von Zellen. Von N. Schümmelfeder 58

Über den Farbsinn der Spinnen. Von A. Kaestner 58

Experimentelle Untersuchungen über die Entstehung des Situs inversus bei Amphibien. Von C. v. Woellwarth 59

Analyse von Algenlipoiden. Von H. J. Deuticke, H. Kathen, R. Harder 60

Besprechungen.

Becker, Fr., Einführung in die Astronomie. (Ref.: H. Haffner) 61

Brinkmann, R., Emanuel Kaysers Abriß der Geologie. (Ref. E. Bederke) 62

Romeis, B., Mikroskopische Technik. (Ref.: R. Bachmann) 62

Knight, R. L., Dictionary of Genetics. (Ref.: R. Harder) 62

Granit, R., Sensory Mechanismus of the Retina. (Ref.: F. H. Rein) 63

Ausgegeben im Mai 1949.

ANALYSE DER METALLE

Herausgegeben vom Chemiker-Fachausschuß der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e. V.

Dr.-Ing. O. Proske, Leiter, und **Prof. Dr. H. Blumenthal**, stellvertr. Leiter

ERSTER BAND

SCHIEDSVERFAHREN

Zweite Auflage. Mit 25 Textabbildungen. VIII, 508 Seiten. 1949. DM 36,—; Halbleinen DM 38,40

Das vorliegende Werk „Analyse der Metalle, I. Band: „Schiedsverfahren" beruht auf einer Gemeinschaftsarbeit von etwa 60 Chemikern, die als Fachleute auf dem Gebiete der Analyse der in dem Buche aufgeführten ca. 30 Metalle anzusprechen sind. Diese Standardanalysen, die in dem Werke eingehend beschrieben sind, kann man als Normen bezeichnen, soweit solche bei Analysenverfahren überhaupt möglich sind.

Als „Schiedsverfahren" werden grundsätzlich solche Arbeitsvorschriften für die Analyse betrachtet, die ohne Rücksicht auf den damit verbundenen Zeitaufwand besonders zuverlässige Ergebnisse gewährleisten.

Ein zweiter Band, der zur Zeit vorbereitet wird, wird die „Betriebsverfahren" behandeln.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen 24.— Mark, für das einzelne Heft 2.50 Mark zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden vom Springer-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Jebensstraße 1, angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin-Charlottenburg 2 Jebensstraße 1 — **Göttingen** Weender Straße 60

Redaktionelle Hinweise.

I Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten: für diese ist die Rubrik „K.O.M." („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne K.O.M. nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des 33. Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,
(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Bei photographischen Abbildungen (Autotypien) kann das Druckergebnis auf dem heute zur Verfügung stehenden Papier nur in seltenen Fällen wirklich befriedigen. Es ist deshalb ratsam, Autotypien nach Möglichkeit zu vermeiden. In vielen Fällen läßt sich das Wesentliche durch eine Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen, und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Konforme Abbildung

Von Dipl.-Ing., Dr. phil. **Albert Betz**

Direktor des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung und Professor an der Universität Göttingen

Mit 276 Bildern. VIII, 359 Seiten. 1948. DMark 36,—

Das vorliegende Buch über „Konforme Abbildung" will vor allem den vielen Ingenieuren und Naturwissenschaftlern, welche dieses wichtige mathematische Hilfsmittel für ihre praktischen Aufgaben brauchen, die Grundlagen der konformen Abbildung in einer ihrer Ausbildung angepaßten Form vermitteln. Aus diesem Grunde werden Vorkenntnisse aus der mathematischen Funktionentheorie nicht vorausgesetzt, sondern umgekehrt die Leser an Hand von anschaulichen Beispielen in diese mathematische Disziplin eingeführt, die dann erst später für weitere Aufgaben Verwendung findet. Wenn das Buch demnach nicht eigentlich für Mathematiker geschrieben ist, so dürfte es aber doch auch für diese als Gesamtdarstellung dieses Sondergebietes von Interessse sein und vielleicht gerade wegen der Eigenart der stark auf der geometrischen Anschauung beruhenden Darstellung manche Anregung bieten.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

36. Jahrgang Heft 2*) 1949

Neuere Untersuchungen über die interstellare Materie.

Von Carl Schalén, Uppsala.

Durch verschiedene Untersuchungen wurde etwa um 1930 eine *Extinktion des Lichtes im interstellaren Raume* mit Sicherheit festgestellt. Es zeigte sich auch, daß diese Lichtschwächung selektiv wirkt, indem kurzwelliges Licht mehr geschwächt wird als langwelliges. Das hat zur Folge, daß eine mit der Entfernung wachsende Rotverfärbung der Sterne eines gewissen Spektraltyps nachgewiesen werden kann.

In den Jahren nach dieser Entdeckung wurde eine Reihe von Untersuchungen veröffentlicht, deren Zweck war, in erster Linie die Größe und Wirkungsart der selektiven Extinktion festzustellen, aber auch die Größe der Extinktion in einem gewissen Wellenlängengebiet, z. B. dem photographischen, zu bestimmen. Außerdem wollte man die Variation der Extinktion von einer Gegend des Himmels zur anderen untersuchen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die schon früher in dieser Zeitschrift behandelt wurden (39), lassen sich in aller Kürze folgendermaßen zusammenfassen.

Vor allem geht aus der Verteilung der außergalaktischen Sternsysteme oder Galaxen hervor, daß die Lichtschwächung hauptsächlich in einer engen Zone um und in der Milchstraßenebene konzentriert ist. Die Beobachtungen der Galaxen zeigen nämlich, daß diese Objekte eine Zone in der galaktischen Ebene vermeiden. Dort werden fast gar keine Galaxen gefunden. Diese Beobachtungstatsache wird in der Weise gedeutet, daß die absorbierende Materie in der Nähe der Milchstraßenebene konzentriert ist, wodurch die Galaxen in diesen Richtungen in einem solchen Grade geschwächt werden, daß sie nicht beobachtet werden können.

Aber wenn auch eine Schicht absorbierender Materie die Milchstraßenebene umgibt, bedeutet das nicht, daß die Lichtschwächung in allen Richtungen in der Milchstraßenebene dieselbe Größe hat. Vielmehr haben die obengenannten Untersuchungen der selektiven Extinktion gezeigt, daß dieselbe von einer Gegend zur anderen variiert. Besonders groß ist die selektive Extinktion in Gegenden, wo Dunkelwolken vorkommen. Damit variiert auch die Extinktion für ein bestimmtes Wellenlängengebiet. In den Dunkelwolken kann die photographische Extinktion mehrere Größenklassen betragen, aber in Gegenden, die scheinbar frei von lichtschwächender Materie sind, beträgt die Extinktion im allgemeinen einige Zehntel Größenklassen pro 1000 Lichtjahre.

Andere Untersuchungen in den Jahren nach der Entdeckung der interstellaren Extinktion behandelten den Aufbau der interstellaren Materie, die die Lichtschwächung verursacht. Von verschiedenen Autoren, u. a. dem Verfasser, wurde versucht, die Beobachtungen der selektiven Extinktion durch die Annahme zu erklären, daß die interstellaren festen Partikeln metallischer Natur seien. Wie wir sehen werden, ist es nunmehr die Meinung mehrerer Forscher, daß sie zum größten Teil nichtmetallischer Natur sind.

Die interstellare Materie besteht aber nicht nur aus festen Teilchen. Tatsächlich wurden die Gase im interstellaren Raume schon vor 45 Jahren durch Hartmanns Entdeckung der interstellaren Kalziumlinien nachgewiesen. Seit etwa 12 Jahren kennt man (10, 56) eine Menge interstellarer Linien, die also in den Gasen des interstellaren Raumes entstehen: Ca I, Ca II, Na I, K I, Ti II, Fe I, CH und CN. Im Gegensatz zu den festen Partikeln im Raume übt die gasförmige Materie keine Lichtschwächung aus. Sie absorbiert nur in engen Spektralgebieten. Durch mehrere Untersuchungen hat es sich auch gezeigt, daß ein enger Zusammenhang zwischen Intensität der interstellaren Linien und Farbenexzeß existiert. Beide wachsen mit der Entfernung. Eine besonders ausgeprägte Beziehung zwischen Intensität und Farbe hat P. Merrill bei der (nicht identifizierten) Linie bei λ 6284 gefunden. Diese Linie und einige andere im gelben und roten Spektralgebiet gefundene Linien unterscheiden sich von den übrigen interstellaren Linien dadurch, daß sie breit und verwaschen sind, während alle anderen schmal und scharf sind. Über ihren Ursprung ist noch nichts bekannt.

Die Forschungen auf dem Gebiete der interstellaren Materie sind während der letzten Jahre in verschiedenen Richtungen weitergeführt worden. Über die Eigenschaften der Dunkelwolken sind mehrere Untersuchungen erschienen. Zur Bestimmung der Natur der interstellaren festen Teilchen sind besonders zwei Wege eingeschlagen worden, nämlich erstens die Bestimmung des Verfärbungsgesetzes durch Erstreckung der Messungen ins Rote und Infrarote, zweitens die Untersuchung der Farbe der durch Sterne beleuchteten dunklen Materie. Für das Studium der Natur der Gaswolken sind von besonderer Bedeutung die Untersuchungen über die Aufspaltung der interstellaren Linien in zwei oder mehrere Komponenten und die Versuche, die Anzahl der Partikeln verschiedener Elemente im Raume zu berechnen. Schließlich ist auch der Frage der Entstehung der festen Teilchen und in diesem Zusammenhange der Bildung von Sternen aus der interstellaren Materie viel Aufmerksamkeit gewidmet worden. Über die Extinktion in fremden Sternsystemen und im intergalaktischen Raume sind neue Resultate vorhanden. Wir werden versuchen, im folgenden eine kurze Übersicht der hier erwähnten Untersuchungen zu geben.

Untersuchungen über Dunkelwolken. In früheren Arbeiten auf diesem Gebiete (39) wurde die Totalabsorption einer Dunkelwolke aus einem sog. Wolfdiagramm abgeleitet. Mit m als Abszisse wurden die Kurven log $A(m)$ oder log $N(m)$ in ein Diagramm eingetragen, in welchem $A(m)$ die Anzahl der Sterne zwischen $m - \frac{1}{2}$ und $m + \frac{1}{2}$, $N(m)$ die Anzahl der Sterne heller als m bedeuten. Die dunkle Gegend ergibt eine Kurve, die Vergleichsgegend eine andere. Für Sterne, die hinter der Dunkelwolke liegen, gibt der horizontale Abstand der Kurven die Absorption der Wolke in Größenklassen ausgedrückt. Im Gegensatz hierzu studiert A. Pannekoek (35) die vertikalen Abstände zwischen den Kurven log $A(m)$ für die Vergleichsgegend und für die Wolke. Diese Differenzen Δ log $A(m)$ berechnet er theoretisch für verschiedene Entfernungen und Absorptionsbeträge eines absorbierenden Schirmes

*) *Ausgegeben im Mai 1949.*

unter Zugrundelegung der von J. C. Kapteyn und P. J. v. Rhijn abgeleiteten Verteilungsfunktion der absoluten Helligkeiten (ohne Rücksicht auf Spektraltypus) und einer von ihm selbst bestimmten Dichtefunktion. Die theoretischen Kurven vergleicht er mit aus beobachteten Sternzahlen in Taurus, Ophiuchus und Cygnus berechneten Differenzen und kann daraus Entfernung und Totalabsorption bestimmen.

Wenn man auch aus allgemeinen Sternzählungen eine sichere Bestimmung der Absorption der Dunkelwolke erhalten kann, ist es wegen der großen Streuung der Verteilungsfunktion der absoluten Größenklassen fast unmöglich, aus einem Wolfdiagramm die Entfernung des Nebels zu bestimmen. Diese Tatsache ist vom Verfasser und anderen hervorgehoben worden. Es ist notwendig, das Material in Spektralklassen mit geringer Streuung der M-Werte aufzuteilen. Die Einwirkung der Streuung der absoluten Helligkeiten wurde eingehend von K. G. Malmquist (26) untersucht, der das ganze Problem der Entfernungsbestimmung zur Behandlung aufgenommen hat. Er stellte in seiner ersten Abhandlung eine Grundgleichung für die Bestimmung von Entfernung, Ausdehnung und Absorption einer Dunkelwolke auf. Diese Methode ist aber oft schwierig anzuwenden, weil sie ein reiches Material von Sternen fordert, was selten in den dunklen Gegenden vorhanden ist. Später betrachtet er den Nebel als einen Schirm und schlägt die folgende Methode vor: Man konstruiert ein Wolfdiagramm, das die log $N(m)$-Kurven gibt. Aus ihm leitet man die sog. scheinbare Absorptionskurve ab: Man liest für aufeinanderfolgende Größenklassen die entsprechende Absorption ab. Die scheinbare Absorptionskurve nimmt für jeden Wert der Streuung der absoluten Helligkeiten eine besondere Form an. Vergleicht man nun beobachtete Absorptionskurven (für verschiedene Spektral- oder Luminositätsklassen mit geringer Streuung der M-Werte) mit berechneten, so kann man die Entfernung des Nebels und außerdem die Streuung bestimmen, natürlich unter der Voraussetzung, daß der Nebel ein Schirm ohne radiale Ausdehnung ist. Wenn der Nebel eine solche Ausdehnung besitzt, wird die aus der scheinbaren Absorptionskurve abgeleitete Dispersion zu groß. Umgekehrt: kennt man die Streuung der absoluten Helligkeiten, kann man, wie Malmquist zeigt, durch einen Vergleich zwischen der beobachteten scheinbaren Absorptionskurve und den für einen Schirm berechneten scheinbaren Absorptionskurven die radiale Ausdehnung abschätzen.

Untersuchungen über spezielle Milchstraßengegenden, die Dunkelwolken enthalten, wurden von A. Wallenquist (58), E. Vanäs (57) und G. Wernberg (59) ausgeführt. Das Material besteht aus Objektivprismenspektren bis zur 11. Größenklasse, scheinbaren photographischen Größenklassen und in dem letzten Falle auch Farbenäquivalenten. Wallenquists Untersuchung bezieht sich auf die Sagittarius- und Ophiuchus-Regionen, wo er den Dunkelnebel bei Θ Ophiuchi studierte. Vanäs studierte den „Nördlichen Kohlensack" im Cygnus und fand, daß die ganze Gegend von einem Nebel in einer Entfernung von 2000 Lichtjahren mit einer Extinktion von 1 Größenklasse bedeckt ist. Außerdem findet er in der zentralen Partie der Gegend eine nähergelegene Wolke in einer Entfernung von 800 Lichtjahren, die auch 1 Größenklasse absorbiert. Wernbergs Arbeit bezieht sich auf eine Region im Cepheus. Eine Einteilung der dunklen Gegend in kleinere nach ihrer Struktur wurde durchgeführt. Fig. 1 zeigt deutlich, wie die verfärbten B-Sterne (durch · und + bezeichnet) hauptsächlich in der verfinsterten Gegend konzentriert sind.

Eine Anzahl ähnlicher Untersuchungen hat B. J. Bok und seine Mitarbeiter (3, 6, 7, 9, 28), L. G. Stoddard (52) u. a. publiziert. Sie basieren im allgemeinen auf Sternzählungen, zuweilen auch auf Spektraltypen der Sterne.

A. Lundby (25) hat einen interessanten Versuch gemacht, absorbierende Wolken in der Umgebung des Sternhaufens Messier 52 durch ein Studium der Eigenbewegungen nachzuweisen, eine Methode, die früher nicht viel Anwendung gefunden hat. Lundby findet einen deutlichen Effekt der Extinktion in den Eigenbewegungen von ungefähr 2 Größenklassen für schwache Sterne.

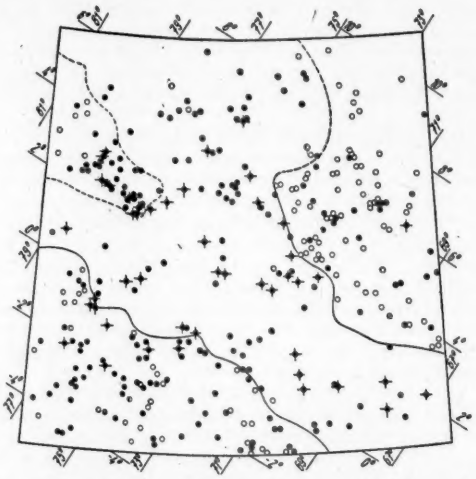


Fig. 1. Die Verteilung der B-Sterne in einer Milchstraßengegend im Cepheus. Die verfärbten Sterne (-✦- und ●) liegen hauptsächlich in der mittleren, dunklen Gegend, die unverfärbten (o und ⊗) hauptsächlich in hellen Gegenden. (Nach G. Wernberg (59)).

Schließlich hat J. Ramberg (36) in seiner spektrophotometrischen Untersuchung der Hyaden und Praesepe die Dunkelwolken in der Hyadengegend studiert. In der zentralen Gegend der Hyaden findet er aus der Verteilung der F5—dG5-Sterne in einer Entfernung von etwa 450 Lichtjahren einen ersten Nebel mit einer radialen Ausdehnung von 230 Lichtjahren, der 2,25 Größenklassen absorbiert. Die Verteilung der A3—F2- und gG5—gM-Sterne in der Hyadengegend zeigt, daß ein zweiter Nebel in einer Entfernung von etwa 1300 Lichtjahren gelegen ist, der ungefähr 1 Größenklasse absorbiert.

In der Richtung des nördlichen Himmelspoles sind absorbierende Wolken vorhanden. Diese Tatsache ist von Bedeutung für die Normalfarben der Sterne der Nordpolsequenz und ist im Zusammenhang mit den Spektraltypen der Polsequenz vielfach diskutiert worden (27). Nach W. W. Morgan und W. P. Bidelman (29) sind die B- und A-Sterne, die heller sind als die der 7. Größenklasse, nicht rotgefärbt, was mit früheren Ergebnissen von P. C. Keenan und H. W. Babcock (22) übereinstimmt. Für Entfernungen kleiner als 650 Lichtjahre tritt keine Extinktion oder Verfärbung auf. F. H. Seares und Mary C. Joyner (44) haben dagegen gefunden, daß der Farbenexzeß bis zu einer Entfernung von etwa 1300 Lichtjahren mit 0.24 Größenklassen wächst, um für größere Entfernungen konstant zu werden.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Extinktion von einer Gegend zur anderen beträchtlich variieren kann. Es kann wohl deshalb kaum zweckmäßig sein, die Extinktion in mathematischer Form als Funktion

der galaktischen Breite und der Entfernung darzustellen. H. Wilkens hat aber in zwei umfangreichen Arbeiten (63) diesen Versuch gemacht, und zwar für verschiedene Wellenlängen. In seiner ersten Abhandlung stützt er sich auf Sternzählungen im photographischen und im visuellen Spektralgebiet, in der zweiten behandelt er die Messungen an einigen O- und B-Sternen von J. Stebbins und A. E. Whitford (48). Solche Formeln der interstellaren Extinktion können natürlich, wie der Verfasser auch bemerkt, nur als gemittelt über den ganzen Himmel aufgefaßt werden.

Das Gesetz der Rotverfärbung. Die ersten in Uppsala durchgeführten Untersuchungen über die Verfärbung der Sterne, die durch Dunkelwolken beobachtet werden, zeigten sogleich, daß die Verfärbung nicht dem Rayleighschen λ^{-4}-Gesetz folgt (39). Vielmehr zeigten meine und Wernbergs (59) Messungen in zwei engen Spektralgebieten, daß die Verfärbung eher proportional λ^{-1} ist. Auch spektralphotometrische Messungen an einigen Sternen von J. L. Greenstein (14) ergaben als Resultat eine Variation der selektiven Extinktion proportional λ^{-1}, während spektralphotometrische Messungen von Baade und Minkowski (39, 42) an Sternen im Orion und von W. Strohmeier (39) Abweichungen von diesem Gesetz lieferten. Ähnliche Resultate erhielt Y. Öhman (32) durch photoelektrische Messungen an verfärbten B-Sternen.

Einen großen Fortschritt auf diesem Gebiete bezeichnet die Sechs-Farben-Photometrie von J. Stebbins und A. E. Whitford (48, 49). Während die früheren Messungen von Stebbins und seinen Mitarbeitern mit einer Kaliumhydrid-Zelle und zwei Filtern durchgeführt waren, die äquivalente effektive Wellenlängen von 4260Å und 4770Å gaben, wurde die Sechs-Farben-Photometrie mit einer Cäsium-Oxyd-Zelle und geeigneten Filtern durchgeführt, die genaue Messungen in sechs Spektralgebieten von 3530Å bis 10300Å gestatten. In der ersten Abhandlung behandeln Stebbins und Whitford die Messungen von 69 helleren O- und B-Sternen, in der zweiten die Messungen von 238 Sternen der Spektralklassen O—M. Die O- und B-Sterne zeigen die Verfärbung in verschiedenem Maß, auch einige rote Riesensterne sind verfärbt. Durch eine geeignete Kombination verfärbter und unverfärbter Sterne leiten die Verfasser die Größenklassendifferenzen in den sechs Spektralgebieten ab und vergleichen diese Differenzen mit denen, die aus einem λ^{-1}-Gesetz folgen. Das Ergebnis dieses Vergleiches waren Abweichungen von einem λ^{-1}-Gesetz in dem Sinne, daß die mittleren Spektralgebiete schwächer sind als nach einem λ^{-1}-Gesetz, gültig von 3530 bis 10300Å. Da die untersuchten O- und B-Sterne sich über die ganze Milchstraße verteilen und die Abweichungen vom λ^{-1}-Gesetz überall mit wenigen Ausnahmen (P Cygni, ϑ^1 Orionis) ungefähr dieselben sind, schließen die Verfasser, daß die interstellare Materie überall einheitlicher Natur ist.

Im Anschluß an die Untersuchung von Stebbins und Whitford hat J. L. Greenstein (16) versucht, den Koeffizienten im Verfärbungsgesetz zu bestimmen. Er wendet dasselbe Material an, schließt aber die Messungen bei λ3530 aus, da diese durch Balmerabsorption oder Emissionslinien beeinflußt werden können. Greenstein findet, daß der Roteffekt beinahe wie $\lambda^{-0.56}$ variiert. Fig. 2 gibt nach Greenstein die Mittelwerte der Rotverfärbung für einen Stern mit der Differenz $= 1^m.0$ zwischen der Absorption im Violetten (λ4220) und Infraroten (λ10300). Die beiden Kurven gelten für die Gesetze $\lambda^{-0.56}$ und λ^{-1}. Wie man sieht, sind die Abweichungen im beobachteten Intervall ziemlich gering.

Das Gesetz der Rotverfärbung wurde auch neuerdings von W. Becker (4) im Zusammenhang mit seinen kolorimetrischen Untersuchungen an offenen Sternhaufen studiert. Er hat mit geeigneten Filtern und Platten besondere Standard-Spektralbereiche ausgewählt, in denen er Helligkeiten bestimmt. Dadurch kann er drei bis fünf verschiedene Farbenindizes bilden, die sich von 638 bis 373 $m\mu$ erstrecken. Ein Studium der Farbenexzesse in der Richtung der offenen Sternhaufen NGC 7654 (M 52) und NGC 663 zeigt nach Becker, daß die interstellare Verfärbung mit großer Annäherung einem λ^{-1}-Gesetz folgt.

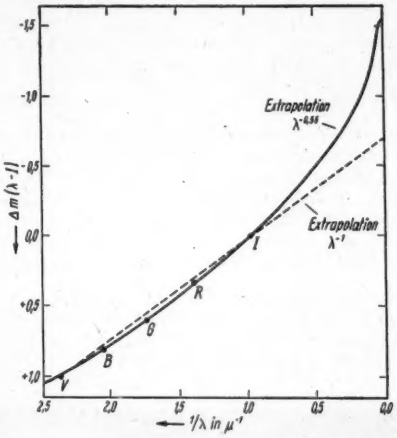


Fig. 2. Die beobachteten mittleren Werte der Verfärbung für einen Stern mit V-I = 1.0 mag. Die voll ausgezogene Kurve repräsentiert die $\lambda^{-0.56}$-Beziehung, die gestrichelte Kurve die λ^{-1}-Beziehung. (Nach J. L. Greenstein (16)).

Für das Studium der Natur der interstellaren festen Teilchen ist es von großer Bedeutung, die Wellenlängenabhängigkeit der Extinktion zu kennen. Deshalb sind die Messungen von Stebbins und Whitford, Becker u. a., die ein großes Wellenlängenintervall überbrücken, wichtig. Allerdings können Abweichungen von einem kontinuierlichen Verlauf der Extinktion der Aufmerksamkeit entgehen, da ja die Messungen in diskreten Wellenlängenbereichen durchgeführt worden sind. Eine genaue spektralphotometrische Bestimmung wäre vorzuziehen.

Wie von Greenstein (13, 16) sowie E. Schoenberg und B. Jung (43) hervorgehoben worden ist, können metallische oder dielektrische Partikeln mit geeigneter Frequenzverteilung der Partikelgrößen fast jedes beliebige Gesetz der interstellaren Verfärbung ergeben. Mit geeigneter Mischung verschiedener Elemente hat Verfasser (38, 39) auch z. B. die Extinktionskurven bei den Orionsternen (siehe oben) darstellen können. Eine Entscheidung über die Natur der Partikeln erhält man nicht, nur eine Möglichkeit, die Beobachtungen darzustellen. Nehmen wir aber mit Greenstein (16) an, daß Teilchen einer bestimmten Größe vorherrschen, so kann das beobachtete Verfärbungsgesetz zusammen mit dem Verhältnis $\frac{\text{Pg. Abs.}}{\text{Verfärbung}}$ vielleicht eine Entscheidung zwischen metallischen und dielektrischen Partikeln ermöglichen. Durch eine Untersuchung, auf die wir hier nicht eingehen können, findet Greenstein, daß für dielektrische Partikel mit dem Brechungsindex 4/3 der Exponent γ in $\lambda^{-\gamma}$ sich mit der Wellenlänge

rasch ändert, was nicht mit den Beobachtungen im Einklang steht. Nach H. C. v. d. Hulst (18) wäre aber die Änderung mit der Wellenlänge kleiner für einen kleineren Brechungsindex. Andererseits läßt sich die Annahme metallischer Partikel leicht mit den Beobachtungen in Übereinstimmung bringen, wie vom Verfasser gezeigt worden ist.

Da also die Interpretation der Extinktion durch dielektrische Partikel einer bestimmten Größe gewisse Schwierigkeiten bietet, hebt Greenstein eine andere Möglichkeit hervor, zwischen Metallen und dielektrischen Partikeln zu entscheiden, die vielleicht für die letztere Annahme spricht. Für sehr große Wellenlängen wird die Extinktion näherungsweise mit λ^{-1} für metallische, mit λ^{-4} für dielektrische Partikel variieren. Also ist die Extinktion zwischen dem im Infraroten gemessenen Punkt und unendlich großer Wellenlänge kleiner für dielektrische als für metallische Partikel, mit dem Ergebnis, daß auch das Verhältnis $\frac{\text{Pg. Abs.}}{\text{Verfärbung}}$ kleiner sein wird. Greenstein hat gezeigt, daß, wenn die Extinktion für große Wellenlängen wie λ^{-1} variiert, das Verhältnis Pg. Abs./Verfärb. (4260—4770) den Minimumwert 10.3 hat. Es ist möglich, daß dieser Wert zu groß ist. Wenn dem so ist, muß die Extinktion für große Wellenlängen rascher als λ^{-1} variieren. Dann würde man schließen, daß dielektrische Partikel vorzuziehen sind.

Die Durchdringung der absorbierenden Wolken mit infrarotem Licht. Mit photoelektrischen Zellen, die im fernen Infraroten empfindlich sind, ist es in den letzten Jahren Stebbins und Whitford (47, 50) gelungen, die dunklen Wolken in der Richtung des Zentrums des Milchstraßensystems zu durchdringen und dadurch die Konturen des Kernes des Systems nachzuweisen. Die ersten Untersuchungen dieser Art, die mit einer Cäsium-Oxyd-Zelle und Filter durchgeführt wurden, beziehen sich auf Wellenlängengebiete bei 7190 Å und 10300 Å. Die Methode war die folgende: Die Photozelle wurde durch ein fokales Diaphragma von 8′.6 Durchmesser am 60″-Reflektor exponiert, wobei das Instrument unbeweglich blieb, während der Himmel durch die tägliche Bewegung vorbeitrieb und die Photozelle die Variationen der Helligkeit registrierte. Stebbins und Whitford fanden, daß in der Nähe von galaktischer Länge 325°, d. h. in der Richtung nach dem Zentrum des Systems, ein Maximum oder Kern vorhanden ist mit einem Farbenindex zwischen 7300—10300 Å von beinahe 2 Größenklassen. Im Vergleich zur normalen Farbe einer nicht verdunkelten Sternwolke erhält man einen Farbenexzeß von 1.5 Größenklassen und eine wahrscheinliche totale photographische Absorption von mindestens 6 Größenklassen in den Wolken, die den Kern verdunkeln. Fig. 3 zeigt nach Stebbins und Whitford die Resultate. Die Kurven stellen die maximalen Galvanometerausschläge dar. Offenbar gibt jede Kurve ein Maximum, das mit hellen Sternwolken nicht verknüpft ist. Einige der Maxima befinden sich in scheinbar dunklen Gegenden.

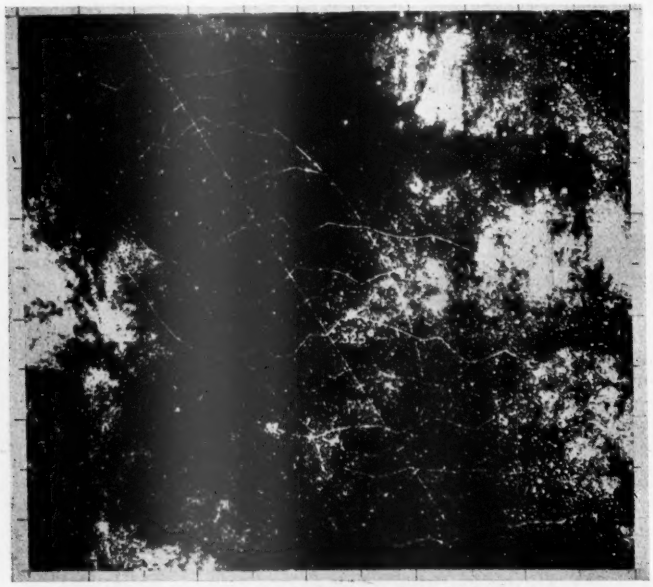


Fig. 3. Infrarote Messungen in der Richtung des galaktischen Zentrums. (Nach J. Stebbins und A. E. Whitford (47, 48)).

Später hat Whitford (62) eine von Cashman konstruierte Bleisulfidzelle verwendet, um die Strahlung der zentralen Gegenden der Milchstraße in einem Wellenlängengebiet bei 2 μ zu studieren. Die Zelle wurde in den Brennpunkt eines Spiegels von f/0.67 und 25 cm Fokallänge gesetzt. Der Kern konnte deutlich beobachtet werden.

Durch diese wichtigen Untersuchungen ist also der zentrale Kern des Milchstraßensystems, der wegen der großen Extinktion im photographischen Wellenlängengebiet unsichtbar ist, direkt beobachtet worden.

Interstellare Materie, von Sternen beleuchtet. Befindet sich in der Nähe einer interstellaren Wolke ein Stern hoher Temperatur, so werden die Atome zum Leuchten gebracht, es entsteht ein heller Emissionsnebel. Ist der anregende Stern niedrigerer Temperatur, so wird die Strahlung an den festen Teilchen der Materie reflektiert. Der Reflexionsnebel besitzt im Gegensatz zum Emissionsnebel ein kontinuierliches Spektrum. Man kann erwarten, aus dem Studium der Reflexionsnebel gewisse Schlüsse auf die Natur der interstellaren Materie ziehen zu können. Tatsächlich wurden die Untersuchungen über die interstellare Materie in den letzten Jahren in dieser Richtung erweitert. Verfasser (40) hat so versucht, unter gewissen vereinfachenden Annahmen über die Form und den Aufbau (metallische Teilchen) des Nebels theoretisch die Farbendifferenz zwischen einem Punkt im Nebel und dem anregenden Stern als Funktion des Abstandes zum Stern, und zwar in verschiedenen Fällen, wo der Stern innerhalb oder außerhalb des Nebels gelegen ist, abzuleiten. Außerdem wurde in Uppsala der Meropenebel in zwei Farben beobachtet (41), um in einem aktuellen Falle die Farbendifferenz abzuleiten. Aus den Messungen, die aber sehr schwierig sind, scheint hervorzugehen, daß die Farbe des Nebels mit der Entfernung vom Stern etwas wächst, so daß die äußeren Teile des Nebels etwas röter als die inneren sind. In ähnlicher Weise hatte früher P. C. Keenan (21) den Nebel NGC 7023 untersucht und gefunden, daß der Nebel etwas röter ist. Das stimmt mit gewissen theoretischen Kurven überein; es besteht wenigstens kein Widerspruch zwischen Theorie und Beobachtungen.

Die Intensitätsverteilung in den kontinuierlichen Spektren einiger Nebel ist von J. L. Greenstein (15, 17) mit der Intensitätsverteilung in den Spektren der entsprechenden anregenden Sterne verglichen worden. Aus den Messungen trägt er die Größenklassendifferenz Nebel—Stern als Funktion der Wellenlänge auf. Er findet, daß diese Differenz für große Wellenlängen am größten ist, d. h. der Nebel als ganzer ist blauer als der anregende Stern, auch für die obengenannten Nebel um Merope und NGC 7023.

Das interstellare Gas. Wie schon erwähnt, kennt man jetzt eine große Anzahl interstellarer Linien. Nach den neuesten Angaben von W. S. Adams (1) beträgt ihre Anzahl 26, von denen 11 molekularen Ursprungs sind (CH und CN). Eine der interessantesten neuen Untersuchungen über interstellare Linien ist der Struktur der interstellaren H- und K-Linien gewidmet. Sie wurde von Adams (1, 2) durchgeführt und behandelt ein Material von 300 Sternen der Spektraltypen O bis B9. Für seine Untersuchung hat Adams die Spektren mit sehr großer Dispersion im Coudé-Fokus des 100″-Reflektors mit Gitter-Spektrograph aufgenommen. Die lineare Skala beträgt für 4/5 der Sterne 2.9 Å/mm, für die übrigen 10 Å/mm. Das untersuchte Wellenlängengebiet erstreckt sich von 3500 Å bis zu 4700 Å.

Die Ergebnisse von Adams lassen sich folgendermaßen zusammenfassen. Von den 300 untersuchten Sternen zeigen 100 doppelte, 17 dreifache, 4 vierfache und 1 fünffache H- und K-Linien[1]). Nur in einem Stern ist die stärkste molekulare Linie λ4232 als doppelt beobachtet, aber wenn die H- und K-Linien komplex sind, scheinen die molekularen Linien

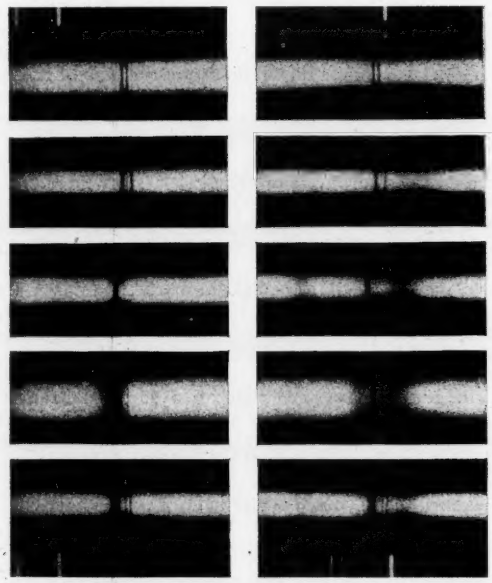


Fig. 4. Interstellare Kalziumlinien in großer Dispersion, Ca II K links, Ca II H rechts. Von oben nach unten: $\varkappa$ Aquilae, HD 167264, ζ Aurigae, μ Sagittarii, HD 199478. (Nach W. S. Adams (1)).

breiter als gewöhnlich zu sein. Das Auftreten doppelter oder mehrfacher Linien (Fig. 4) erklärt sich dadurch, daß das Licht auf dem Wege zwei oder mehrere Gaswolken mit verschiedener Geschwindigkeit in der Gesichtslinie zu durchdringen hat. Die Komponenten sind scharf und schmal, die Wolken, in denen diese Linien entstehen, sind folglich diskrete Wolken mit geringer innerer Bewegung. Etwa 50 der untersuchten Sterne zeigen molekulare Linien, nur wenige zeigen aber zugleich alle atomaren und molekularen Linien. Linien von ionisiertem CH sind im allgemeinen stärker als die von neutralem CH und sind in vielen Wolken beobachtet worden, in denen neutrales CH nicht beobachtet wird. Neutrales CN und neutrales CH treten oft zugleich auf. Linien von FeI und CaI sind immer sehr schwach und treten nur auf, wenn die H- und K-Linien sehr stark sind. Sterne, die am Himmel nahe beieinander liegen, zeigen im allgemeinen dieselben interstellaren Linien mit denselben relativen Intensitätsverhältnissen. Eine Ausnahme bilden 66 und 67 Ophiuchi, wo die Intensitäten der zwei Komponenten von H und K vertauscht sind.

Aus den einfachen H- und K-Linien erhält Adams Radialgeschwindigkeiten von der Größe 5 km/sec (für Sonnenbewegung korrigiert). Die schwachen Komponenten, die in kleineren und dünneren Wolken entstehen, zeigen beträchtliche Radialgeschwindigkeiten, die in 21 Fällen größer als 30 km/sec, in fünf größer als 50 km/sec sind.

Von großem Interesse ist die Berechnung der Anzahl der Atome verschiedener Elemente im interstellaren Raume. Aus den beobachteten Linienintensitäten der Elemente NaI, K I, Ti II, Ca I und Ca II können die Anzahlen der entsprechenden Atome oder Ionen abgeleitet werden. Um die wirklichen Atomzahlen zu bestimmen, muß man aber die Anzahl in allen Ionisationsstufen jedes Elementes berechnen. Kennt man die Anzahl N_r der Atome in der Ionisationsstufe r, so gibt uns die Ionisationsformel die Anzahl in der folgenden Ionisationsstufe, N_{r+1}, wenn die Anzahl der freien Elektronen, N_e, bekannt ist. Dabei ist es von großer Bedeutung, daß für eines der Elemente, Ca, die Linien λ4227 Å von Ca I und 3934 Å von Ca II in zwei aufeinanderfolgenden Ionisationsstufen als interstellare Linien beobachtbar sind (allerdings nur in einem einzigen Stern χ^2 Orionis). Für dieses Element kennt man dann $N_1 = 4 \times 10^{-11}$ pro cm³ und $N_2 = 10^{-7}$ pro cm³ und kann durch Verwendung der Ionisationsformel N_e berechnen. Verschiedene Berechnungen ergeben etwas abweichende Resultate, die Größenordnung ist 10 freie Elektronen pro cm³. Mit diesem Wert von N_e gibt die Ionisationsformel die Anzahl der Ionen verschiedener Ionisationsstufen für andere Elemente. Es zeigt sich nun, daß die Anzahl freier Elektronen mindestens 10^4mal so groß ist wie die Anzahl positiv geladener Ionen. Die interstellare Materie muß aber als Ganzes neutral sein. Das führt Th. Dunham (12) zu der folgenden Überlegung. Den (nach seiner Berechnung) 14 freien Elektronen pro cm³ entsprechen ebensoviele Ionen. Diese müssen aber fast ausschließlich aus Wasserstoff bestehen. Denn wären schwerere Atome vorhanden, so würde die Massendichte der Atome zu groß ausfallen. Die Masse des H-Atoms beträgt 1.6×10^{-24} gr, also würde man eine Dichte von 2×10^{-23} gr cm^{-3} erhalten (in dieser Richtung des Raumes). Das Studium der Geschwindigkeiten der Sterne führt zu einer mittleren Dichte der Elemente von 3×10^{-24} gr cm³. Mit großer Annäherung kann man folglich die Anzahl ionisierter Wasserstoffatome oder Protonen gleich der Anzahl freier Elektronen setzen. Aus der Ionisationsformel läßt sich dann auch die Anzahl neutraler Wasserstoffatome im interstellaren Raume berechnen. Die folgende Tabelle zeigt die Zusammensetzung des interstellaren Gases nach Mitteilungen auf dem Kongreß der IAU in Zürich (31). Die Tabelle gibt die logarithmischen Häufigkeiten, und zum Vergleich sind die entsprechenden Werte für die Sonne,

[1]) Bemerkenswert ist, daß von den 50 Sternen, die das Material der ersten oben zitierten Abhandlung ausmachten, über 4/5 komplexe interstellare H- und K-Linien zeigten, während vom Gesamtmaterial, 300 Sternen, nur etwa 2/5 komplexe Linien aufweisen.

für planetarische Nebel und für den Stern τ Scorpii auch mitgeteilt.

Element	Sonne	Planet. Nebel (*Menzel*)	Interst. Mat. (*Strömgren*)	τ Sco (*Unsöld*)
H	10.0	10.0	10.0	9.8
H*	5.0			
He	9.30?	9.3		9.1
C	6.89	6.1		6.0
N	7.08	7.1		6.4
O	7.18	7.3		6.8
Na	4.28		4.4	
Mg	5.51			5.6
Ca	4.23		5.0	
K	3.20		3.6	
Ti	2.96		3.3	
F		4.8?		
S	4.92	5.6		
Al	4.33			4.3
Si	5.29			5.6
Fe	4.99			

In seinem Bericht auf dem Kongreß in Zürich drückt O. Struve (55) diese Ergebnisse für die Sterne der Hauptreihe und den interstellaren Raum in der folgenden Weise aus: Für jedes Atom irgendeines Metalles gibt es in einem Stern ungefähr 6 Atome von C, N und O, 500 Atome von He und 5000 Atome von H. Für den interstellaren Raum hat man in 10^6 Kubikzoll 10^7 H-Atome, 60 Na-, 100 Ca-, 4 K- und 2 Ti-Atome. Man kennt noch nicht die Häufigkeit des He, sie wird auf ein Zehntel derjenigen von H geschätzt. Alle anderen Elemente sind auch sicher vorhanden, aber nicht beobachtbar. Es ist bemerkenswert, daß das dünne Material des interstellaren Raumes eine ähnliche Zusammensetzung wie das Material einer Sternatmosphäre hat.

Das Hauptergebnis dieser Ausführungen ist, daß Wasserstoff ein sehr reichlich vorkommendes Element im Raume ist und alle anderen Elemente weit überwiegt. Durch die Untersuchungen von O. Struve und C. T. Elvey (54) hat man auch eine direkte Bestätigung der großen Häufigkeit des Wasserstoffes erhalten. Diesen Astronomen ist es nämlich gelungen, mit einem speziellen lichtstarken Spektrographen Wasserstoff in Emission zu beobachten, besonders in den Milchstraßengegenden in Cygnus, Cepheus und Monoceros. Diese Wasserstoffregionen sind mit Gruppen von O-Sternen verbunden. Die interstellaren Wasserstoffatome werden durch die intensive ultraviolette Strahlung der heißen Sterne angeregt. Auch verbotene Linien von O II (λ3727), N II (6548, 6484) und O III (N_1 und N_2) wurden in Emission beobachtet.

B. Strömgren (53) hat die Ionisation des Wasserstoffes in der Nähe der heißen Sterne theoretisch studiert. In unmittelbarer Nähe eines Sternes ist der Wasserstoff durch die ultraviolette Strahlung der Wellenlängen $\leq$ 912Å ionisiert (H II-Region). Mit wachsender Entfernung vom Stern wächst aber die Anzahl neutraler Wasserstoffatome, wodurch die Absorption der ionisierenden Strahlung größer wird. Schließlich wird die ionisierende Strahlung so schwach, daß in größerer Entfernung der Wasserstoff neutral bleibt (H I-Region). Der Übergang zwischen den H II- und H I-Regionen geschieht sehr schnell. Es ist Strömgren gelungen, die Ausdehnung der ionisierten Region als Funktion der Temperatur und absoluten Leuchtkraft des Sternes und der Dichte des interstellaren Wasserstoffes zu berechnen. Strömgren schließt, daß eine Gruppe von 10 bis 15 O-Sternen von einer Sphäre von ungefähr 500 Lichtjahren Radius mit ionisiertem Wasserstoff umgeben ist. Da die O- und B-Sterne um die galaktische Ebene konzentriert sind, folgt auch, daß die Emissionsgegenden in einem Abstande von etwa 650 Lichtjahren von der galaktischen Ebene aufhören müssen, was mit Struves und Elveys Beobachtungen übereinstimmt.

Wechselwirkung zwischen festen Partikeln und Gas im interstellaren Raume. Bis vor einigen Jahren wurden der interstellare Staub und das Gas als zwei verschiedene Gebiete der interstellaren Materienforschung behandelt. Die Entwicklung geht jetzt in der Richtung, daß die Wechselwirkung zwischen den festen Partikeln und dem Gas näher untersucht wird. Es handelt sich dabei um die Entstehung der Partikeln aus dem Gas (und umgekehrt) sowie um den Gleichgewichtszustand, der schließlich erreicht wird.

Den Ausgangspunkt dieser Untersuchungen bildet die von B. Lindblad (23) 1935 aufgestellte Hypothese, daß die interstellaren festen Teilchen durch die Kondensation des interstellaren Gases entstanden seien. Die kleinen Kondensationskerne seien sehr kalt, so daß die auf sie auftreffenden Gasatome haften bleiben und die Kerne vergrößern. Lindblad berechnete die Zeitdauer, die für ein Anwachsen bis zu der vom Verfasser aus der Theorie der Absorption des Lichtes abgeleiteten Partikelgröße ($\approx 10^{-5}$ cm) erforderlich ist, zu 10^9 Jahren, was mit dem Alter des Sternsystems nach der kurzen Zeitskala übereinstimmt. Später zeigte B. Jung (20), daß elektrische Repulsionskräfte zwischen gasförmiger und fester Materie wirksam sind, die diesen Prozeß verzögern. In dieser Hinsicht kommt aber L. Spitzer (45) zu einem anderen Ergebnis. Er findet im Gegensatz zu Jung, daß die festen Teilchen eine negative Ladung besitzen.

Das Problem des Anwachsens der festen Teilchen ist neuerdings von J. H. Oort und H. C. v. d. Hulst (33, 34) wieder aufgenommen worden. Oort und v. d. Hulst machen die grundlegende Annahme, daß jedes Atom oder Molekül, das mit einem aus dem Gas gebildeten festen Teilchen zusammenstößt, eingefangen und niedergefroren wird, da die Temperatur der interstellaren Teilchen wahrscheinlich nur zwischen 10 und 20° K liegt (eine Annahme, die übrigens von F. Cernuschi (11) kritisiert worden ist). Dabei ist zu bemerken, daß Wasserstoff und Helium nur in begrenztem Umfang kondensieren können. Durch diesen Prozeß wachsen die Durchmesser der interstellaren Teilchen. Die Verfasser berechnen auf Grund der thermischen Geschwindigkeiten, der mittleren Dichten, der Verdampfung von H und He und einer kleinen elektrostatischen Anziehung (nach L. Spitzer), daß schon in $3 \cdot 10^7$ Jahren die beobachtete Größe von 10^{-5} cm erreicht sein würde. Da das Alter der Milchstraße auf das 100fache geschätzt wird, muß ein Prozeß vorhanden sein, durch welchen das schnelle Anwachsen verlangsamt wird. Man könnte sich vorstellen, daß das Gas allmählich erschöpft wird. Nun beobachtet man aber das gleichzeitige Vorhandensein von Gasen und festen Teilchen, und deshalb ist diese Erklärung wahrscheinlich nicht stichhaltig. Es wird von Oort und v. d. Hulst die folgende Möglichkeit geprüft. Die interstellaren Gaswolken besitzen, nach Adams (1, 2), O. A. Melnikovs (28a) und F. L. Whipples (61) Untersuchungen, beträchtliche relative Geschwindigkeiten. Es wird angenommen, daß die festen Teilchen in denselben Wolken wie das Gas konzentriert sind (was nach Spitzer und P. J. van Rhijn (37) richtig ist) und daß diese Wolken mit mittleren Geschwindigkeiten von 22.5 km/sec zusammenstoßen. Bei einem solchen Zusammenstoß werden die festen Teilchen in einer der zwei Wolken eine gewisse Möglichkeit haben, mit einem Teilchen der anderen Wolke zusammenzustoßen. Wenn die Bewegungsenergie, die beim Zusammenstoß frei wird, groß genug ist, werden die beiden Teilchen verdampfen (evaporate), anderenfalls werden sie miteinander verschmelzen oder nach elastischem Zusammenstoß fortbestehen. Die kleinste relative Ge-

schwindigkeit, die für Verdampfung notwendig ist, wird für zwei identische Teilchen auf 2.9 km/sec berechnet. Schließlich versuchen die Verfasser, die Wahrscheinlichkeit der Verdampfung beim Zusammenstoß abzuschätzen. Sie finden unter gewissen ziemlich arbiträren Annahmen, daß die Anzahl der Zusammenstöße zwischen einem Teilchen und einer Wolke ungefähr 1 pro 10^7 Jahre beträgt, von diesen Zusammenstößen führen 1/10 zur Verdampfung. Das bedeutet, daß die mittlere Lebensdauer eines Teilchens nicht größer als 10^8 Jahre sein würde, d. h. 1/30 des Alters des Milchstraßensystems. Daraus ziehen Oort und v. d. Hulst den Schluß, daß die Verdampfung durch Zusammenstöße eine befriedigende Erklärung dafür geben kann, daß, nach den Beobachtungen zu urteilen, größere Teilchen wahrscheinlich nicht vorhanden sind. Die Wahrscheinlichkeit der Verdampfung wächst nämlich proportional der dritten Potenz des Partikeldurchmessers. Ich möchte hervorheben, was auch von Oort und v. d. Hulst getan wird, daß die hier angedeuteten Berechnungen und Abschätzungen in manchen Fällen sehr unsicher sind und sich auf eine Menge von Annahmen stützen. Das liegt natürlich in der Natur dieses schwierigen Problems.

Durch eine recht komplizierte Analyse leiten Oort und v. d. Hulst die Verteilungsfunktion der Teilchenradien ab, die vorhanden wäre, nachdem ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist, d. h. wenn feste Teilchen in so großer Anzahl gebildet und zu solchen Größen angewachsen sind, daß weitere Bildung und weiteres Anwachsen durch Verdampfung bei Zusammenstößen genau kompensiert wird. Die resultierende Verteilungsfunktion ist dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Radius von der Größe zwischen λ und $0.1 \cdot \lambda$ (λ = der Wellenlänge des Lichtes) eine schnelle Abnahme einsetzt. Unter der Annahme dieses Verteilungsgesetzes können die Verfasser auch die interstellare Extinktion (in Größenklassen pro Kiloparsek) als Funktion von $1/\lambda$ berechnen, was unmittelbar mit Beobachtungen verglichen werden kann. Unter der Annahme, daß die Teilchen einen Brechungsindex = 1.33 (wie Eis) haben, finden sie eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Stebbins und Whitford. Auch die Beträge der photographischen Extinktion stehen in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Nach dieser Theorie scheint es ausgeschlossen zu sein, daß die interstellaren Teilchen überwiegend metallischer Natur sind. Vielmehr kann man sich nach v. d. Hulst (19) das folgende Bild machen. Jedes Atom, das ein festes Teilchen trifft, gibt dem Teilchen seinen Überschuß an Energie und wird für einige Zeit an der Fläche haften; ob es dort bleiben kann, hängt mit den Bindungskräften zusammen. v. d. Hulst berechnet, daß für festen Sauerstoff bei 17° das Einfangen von Atomen und die Verdampfung einander gerade das Gleichgewicht halten. Er glaubt aber, daß alle O-Atome mit H und H_2 Moleküle von H_2O bilden werden, die stabil sind. Man kann sich deshalb vorstellen, daß ein interstellares Teilchen ein unregelmäßiger oder vielleicht beinahe sphärischer Eiskristall mit einer beträchtlichen Beimischung von H_2-Molekülen und mit kleineren Beimischungen von CH_4, NH_3, MgH, Fe usw. ist. Diese Zusammensetzung wird unabhängig von der Natur des Kondensationskernes erreicht.

Die Entstehung von Sternen aus der interstellaren Materie. Diesem Problem ist in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit gewidmet worden. Die Namen, die mit diesen Untersuchungen verknüpft sind, sind vor allem F. L. Whipple (60, 61), L. Spitzer jr. (46) und B. J. Bok (5, 8). Wenn man diskutieren will, ob sich die interstellare Materie zu Sternen kondensieren kann, muß man sich mit Spitzer darüber klar werden, welche Kräfte auf die verschiedenen Partikel wirken. In dem leeren Raum zwischen den Sternen bewegt sich ein interstellares Teilchen im allgemeinen geradlinig. Zufälligerweise wird es einem anderen Teilchen oder einem Lichtquant begegnen. Die Zusammenstöße von festen Teilchen oder Atomen miteinander sind von Bedeutung für die Temperatur der Materie im Raume und, wie wir gesehen haben, für die Bildung von festen Partikeln aus dem Gas. Die Zusammenstöße zwischen festen Teilchen und Lichtquanten sind von Bedeutung für die Entstehung der Sterne. In einem Milchstraßensystem kommt in der galaktischen Ebene die Strahlung von allen Seiten. Durch den Strahlungsdruck wird daher ein einzelnes Teilchen bald in die eine, bald in die andere Richtung getrieben, ohne daß eine Nettobewegung resultiert. Wenn aber mehrere Teilchen vorhanden sind, wird der Schatten des einen auf dem anderen die Strahlungskraft aus dem Gleichgewicht bringen, und die Lichtquanten, die von verschiedenen Seiten auffallen, treiben die Teilchen gegeneinander. Es entsteht dadurch eine effektive Anziehungskraft zwischen den Teilchen, die 1000fach größer als die Gravitationskraft ist. Das Endresultat dieser Anziehung zwischen den Partikeln ist, daß im Laufe von ungefähr 10^7 Jahren eine Dunkelwolke gebildet wird, wo die Dichte der festen Teilchen mit der Dichte von Wasserstoff vergleichbar ist. Wenn diese Wolken so dicht werden, daß das Licht nicht durchdringen kann, hört der Strahlungsdruck auf zu wirken. Dann tritt die Gravitationskraft ein und wirkt zusammenziehend. Die Wolke hat nun einen Durchmesser von etwa einem Lichtjahr oder kleiner. Solche kleinen Dunkelwolken kennt man mehrere. Sie werden nach Bok mit dem Wort „globules" bezeichnet und sind besonders von ihm studiert worden. Bok hat versucht, die Durchmesser und Massen der Globula und die Geschwindigkeiten der Partikeln in ihnen abzuschätzen. Er findet größenordnungsmäßig: Durchmesser 0.2 — 1.6 Lichtjahre, Minimum-Massen 0.002 bis 0.05 ⊙, Geschwindigkeiten der Partikeln 0.02 km/sec. Die so berechneten Geschwindigkeiten, die zwar etwa 7mal so groß werden, wenn Rücksicht auf den äußeren Strahlungsdruck genommen wird, liegen beträchtlich unter dem oben angeführten Wert 2.9 km/sec, welcher beim Zusammenstoß notwendig wäre, um Verdampfung hervorzubringen. Die Zusammenstöße der Partikeln in den Globula sind hauptsächlich elastisch, und die Globula sind als stabile Konfigurationen zu betrachten, die das prästellare Stadium der kosmischen Entwicklung repräsentieren. Dieser Gleichgewichtszustand ist aber nicht ein permanenter Zustand, denn durch etwas unelastische Zusammenstöße wird immer ein wenig Energie verlorengehen. Ein Globulum wird sich deshalb unter dem Einfluß seiner eigenen Gravitationskraft und des äußeren Strahlungsdruckes zusammenziehen. Weiter nimmt Bok an, daß die Massen der Globula dadurch wachsen, daß Partikeln aus dem allgemeinen galaktischen Feld in das Globulum einstürzen oder daß Partikeln aus dem Feld eingefangen werden, wenn das Globulum in Bewegung ist. Dadurch gehen die Globula in sternähnliche Objekte über. Die Dauer des prästellaren Stadiums wird auf 10^7 bis 10^8 Jahre geschätzt.

Interstellare Materie in anderen Sternsystemen. Daß in den außergalaktischen Sternsystemen dunkle Materie vorhanden ist, geht unmittelbar aus Beobachtungen hervor. Wenn wir solche Sternsysteme von der Kante beobachten, finden wir oft, daß das System

wie in zwei Teile durch ein dunkles Band aufgeteilt ist. Das ist offenbar eine Schicht absorbierender Materie in der Zentralebene des Sternsystems.

Eine eingehende Untersuchung über die Extinktionsverhältnisse im Spiralnebel NGC 7331 wurde vor einigen Jahren von B. Lindblad (24) veröffentlicht. Er hat Aufnahmen in drei Farben (ungefähr λ4000, 4300 und 6400Å) näher studiert. Das Sternsystem zeigt eine ausgeprägte Asymmetrie der Lichtverteilung um das Zentrum, die am stärksten in ultraviolettem Licht zutage tritt. Auf der einen Seite des Kernes zeigen die Isophoten ungefähr denselben Verlauf in den drei Farben, auf der anderen Seite nimmt die Lichtintensität viel langsamer im ultravioletten und im blauen Licht ab, während im roten die Abnahme nach beiden Seiten ungefähr dieselbe ist. Die Erklärung ist nach Lindblad die folgende: Es gehen vom Kern zu beiden Seiten Spiralarme aus, die symmetrisch um den Kern liegen. Das Sternsystem ist aber so orientiert, daß auf der Seite, wo die Isophoten alle denselben Verlauf zeigen (und wo die schnellste Lichtabnahme im Violetten und Blauen vorkommt), der Spiralarm durch dunkle Materie verdunkelt ist. Lindblad findet, daß die Extinktionskoeffizienten, die notwendig sind, um die Asymmetrie der Licht- und Farbenverteilung in den äußeren Teilen des Systems hervorzurufen, nur etwas größer als diejenigen im Milchstraßensystem sind. In den inneren Teilen des Systems müssen aber beträchtlich größere Werte angenommen werden. Das Verhältnis zwischen selektiver Extinktion (im gewöhnlichen Farbenindex-System) und absoluter Extinktion im photographischen Gebiet ist von derselben Größenordnung 1 : 3 wie im Milchstraßensystem. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß die Ursache der Extinktion dieselbe ist wie in der Milchstraße.

Extinktion im intergalaktischen Raume? Neuerdings haben Stebbins und Whitford (51) einige sehr interessante Resultate mitgeteilt, die sie aus photoelektrischen Messungen der Farbe entfernter außergalaktischer Systeme erhalten haben, die Mitglieder der großen Haufen solcher Systeme in Virgo, Coma, Corona und Bootes sind. Die dritte Kolonne der folgenden Tabelle gibt den aus den photoelektrischen Messungen abgeleiteten Farbenindex im System der Polarsequenz, die vierte Kolonne die aus der Rotverschiebung gefundene Entfernung.

Haufen	m_{pg}	C	R (Einheit: 10^6 Lichtjahre)	Anzahl
Virgo	9.5—15.6	0.86	7	18
Coma	13.2—17.4	0.99	37	3
Corona	16.8—17.3	1.13	124	4
Bootes	18.2	1.36	219	1

Es ist aus der Tabelle unmittelbar ersichtlich, daß eine enge Korrelation zwischen Farbe und Entfernung vorhanden ist in dem Sinne, daß die entfernteren außergalaktischen Sternsysteme röter sind als die näheren. Dieser Roteffekt beträgt nur 0.0000025 Größenklassen/1000 Lichtjahre, d. h. nur etwa drei Hunderttausendstel des Roteffektes im Milchstraßensystem, wenn wir im Mittel mit 0.08 Größenklassen/1000 Lichtjahre rechnen. Wenn wir den Roteffekt als interstellare Verfärbung deuten, würde das Material eine Dichte von der Größenordnung 10^{-28} g/cm^3 besitzen.

Es ist aber nicht sicher, daß dieser Roteffekt im intergalaktischen Raume durch selektive Extinktion verursacht wird. Eine andere Erklärungsmöglichkeit ist die folgende: Die hier in Frage kommenden Entfernungen variieren zwischen etwa 7×10^6 Lichtjahren und 220×10^6 Lichtjahren. Das Licht braucht also über 200 Millionen Jahre mehr, um von den entferntesten untersuchten Systemen zu uns zu gelangen. Wenn eine Änderung der Farbe während 200 Millionen Jahren stattgefunden hat, so daß die Systeme früher röter waren als jetzt, kann das die beobachtete Veränderung der Farbe mit der Entfernung erklären. Nach M. Schwarzschild können diese außergalaktischen Systeme früher eine große Anzahl roter Riesensterne hoher Leuchtkraft enthalten haben, die allmählich ihre Energie verbraucht haben, nachdem das Licht die entferntesten Systeme verlassen hat.

Nachtrag bei der Korrektur. Die Messungen von Stebbins und Whitford in sechs Spektralgebieten wurden neuerdings von Whitford (Ap. J. **107**, 102, 1948) bis zum Infraroten erweitert. Er hat mit einer Bleisulfidzelle die infrarote Strahlung von vier verfärbten und zwei Vergleichssternen gemessen. Mit geeigneten Filtern wurden zwei Spektralgebiete bei 0,90 μ und 2,1 μ ausgesondert. Die Messungen wurden mit denen der Sechs-Farben-Photometrie zusammengestellt. Die resultierende Absorptionskurve zeigt folgendes: Während für $\lambda < 1\ \mu$ die Abweichungen vom λ^{-1}-Gesetz gering sind (Fig. 2), zeigen die Messungen bei 2,1 μ einen Übergang zu einem λ^{-4}-Gesetz, was auf dielektrische Teilchen als Ursache der Verfärbung deutet. Die Messungen stehen auch im Einklang mit Oorts und v. d. Hulsts theoretischen Berechnungen.

Nach Einsendung des Manuskriptes zur Redaktion traf auch das Septemberheft 1948 des Ap. J. ein. Dort behandelt B. Strömgren (Ap. J. **108**, 242, 1948) die Verteilung und die Zusammensetzung des interstellaren Gases und L. Spitzer (Ib. p. 276) die Verteilung des interstellaren Natriums. Beide Verfasser sind der Auffassung, daß das interstellare Gas nicht gleichförmig, sondern in Wolken verteilt ist, was auch mit früheren Untersuchungen von V. A. Ambarzumian und S. G. Gordeladse (Bull. of the Abastumani Obs. No. 2, 1938) übereinstimmt.

Die ausführliche Beschreibung der Messungen schwacher außergalaktischer Nebel findet man in einer Abhandlung von Stebbins und Whitford (Ap. J. **108**, 413, 1948), die ebenfalls nach der Einsendung des Manuskriptes dieses Aufsatzes ankam.

Universitäts-Sternwarte Uppsala.

Eingegangen am 5. Januar 1949.

Literatur.

(1) Adams, W. S., Ap. J. **97**, 105 (1943) = Mt. W. Ctr. 673. — (2) —, Draft Report of IAU p. 174, Zürich (1948). — (3) Baker, R. H. und Nantkes, E., Ap. J. **99**, 125 (1944). — (4) Becker, W., Veröff. der Univ.-Sternwarte Göttingen 82 (1946), A. N. **275**, 145; **275**, 229; **276**, 1 (1947). — (5) Bok, B. J., H. O. M. **7**, 53 (1948). — (6) Bok, B. J. und Rendall-Arons, J. M., Ap. J. **101**, 280 (1945). — (7) Bok, B. J. und Wright, F. W., Ap. J. **101**, 300 (1945). — (8) Bok, B. J. und Reilly, Edith, Ap. J. **105**, 255 (1947). — (9) Bok, B. J., Boutelle, B. D. und Olmsted, M., A. J. **53**, 197 (1948). — (10) Bruggencate, P. ten, Naturwiss. **28**, 289 (1940). — (11) Cernuschi, F., Ap. J. **105**, 241 (1947). — (12) Dunham jr, T., Proceed Amer. Philos. Soc. **81**, 277 (1939). — (13) Greenstein, J. L., Harvard Circular 422 (1937). — (14) —, Ap. J. **87**, 151 (1938). — (15) —, Ap. J. **87**, 79 (1938). — (16) —, Ap. J. **104**, 403 (1946). — (17) —, H. O. M. **7**, 19 (1948), Ap. J. **107**, 375 (1948). — (18) Hulst, H. C. v. d., Optics of Spherical Particles (1946). — (19) —, H. O. M. **7**, 73 (1948). — (20) Jung, B., Veröff. der Univers.-Sternwarte Breslau **9**, **4** (1938) = A. N. **263**, 425. — (21) Keenan, P. C., Ap. J. **84**, 600 (1936). — (22) Keenan, P. C. und Babcock, H. W., Ap. J. **93**, 64 (1941). — (23) Lindblad, B., Nature **135**, 133 (1935). — (24) —, Stockholms Obs. Ann. **14**, **3** (1942). — (25) Lundby, A., Uppsala Obs. Ann. **1**, **10** (1946). — (26) Malmquist, K. G.,

Stockholms Obs. Ann. **13**, **4** (1939), Uppsala Obs. Ann. **1**, **7** (1943), **1**, **8** (1945). — (27) Martin, E. G., M. N. **102**, 261 (1942). — (28) McCuskey, S. W., Ap. J. **102**, 32 (1945). — (28a) Melnikov, O. A., Astr. Journ. of Soviet Union, **24**, 82 (1947). — (29) Morgan, W.W. und Bidelman, W. P., Ap. J. **104**, 245 (1946). — (30) Nantkes, E. und Baker, R. H., Ap. J. **107**, 113 (1948). — (31) Observatory **68**, 161 (1948). — (32) Öhman, Y., Stockholms Obs. Medd. 55 (1944). — (33) Oort, J. H., M. N. **106**, 159 (1946). — (34) Oort, J. H. und Hulst, H. C. v. d., B. A. N. 376 (1946). — (35) Pannekoek, A., Publ. of Astr. Inst. Amsterdam 7 (1942). — (36) Ramberg, J., Stockholms Obs. Ann. **13**, **9** (1941). — (37) Rhijn, P. J. v., Groningen Publ. 50 (1946). — (38) Schalén, C., Uppsala Obs. Ann. **1**, **2** (1939). — (39) —, Naturwiss. **28**, 81 (1940). — (40) —, Uppsala Obs. Ann **1**, **9** (1945). — (41) —, Uppsala Obs. Ann. **2**, **5** (1948), H. O. M. **7**, 11 (1948). — (42) Schoenberg, E., Ergebnisse d. exakten Naturwiss. **19**, 1 (1940). — (43) Schoenberg, E. und Jung, B., Mitteil. d. Univ. Sternwarte Breslau, **IV**, 61 (1937). — (44) Seares, F. H. und Joyner, Mary C., Ap. J. **98**, 261 (1943). — (45) Spitzer, jr, L., Ap. J. **93**, 369 (1941). — (46) —, H. O. M., **7**, 87 (1948). — (47) Stebbins, J., H. O. M. **7**, 3 (1948). — (48) Stebbins, J. und Whitford, A. E., Ap. J. **98**, 20 (1943) = Mt. W. Ctr. 680. — (49) — —, Ap. J. **102**, 318 (1945) = Mt. W. Ctr. 712. — (50) — —, Ap. J. **106**, 235 (1947) = Mt. W. Ctr. 734. — (51) — — , A. J. **53**, 204 (1948). — (52) Stoddard, L. G., Ap. J. **102**, 267 (1945). — (53) Strömgren, B., Ap. J. **89**, 526 (1939). — (54) Struve, O., Journal Washington Ac. of Sc. **31**, 217 (1941). — (55) —, Pop. Astr. **56**, 401 (1948). — (56) Swings, P., Annales d'Astrophysique **1**, 39 (1939). — (57) Vanäs, E., Uppsala Obs. Ann, **1**, **1** (1939). — (58) Wallenquist, A., Ann. v. d. Bosscha Sterrenw. **V**, **5** (1939), Strömgren Festschrift p. 282 (1941). — (59) Wernberg, G., Uppsala Obs. Ann. **1**, **4** (1941). — (60) Whipple, F. L., Ap. J. **104**, 1 (1946). — (61) —, H. O. M., **7**, 109 (1948). — (62) Whitford, A. E., A. J. **53**, 206 (1948). — (63) Wilkens, H., Publ. del. Obs. La Plata 22 (1945), 23 (1947).

Abkürzungen.

A. J. = Astronomical Journal. — A. N. = Astronomische Nachrichten. — Ap. J. = Astrophysical Journal. — B. A. N. = Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands. — H. O. M. = Harvard Observatory Monograph. — M. N. = Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — Mt. W. Ctr. = Contributions from the Mount Wilson Observatory.

Gasblasen in Flüssigkeiten.

Von R. Seeliger.

Wenn man sich auch begreiflicherweise in jeder Wissenschaft vornehmlich für die jeweils an der Front der Forschung liegenden Fragen interessiert, sollte man doch so manche Gebiete nicht in Vergessenheit geraten lassen, in denen es immerhin noch etliche, wenn auch nicht gerade fundamentale, so doch recht reizvolle Probleme zu lösen gibt. Der vorliegende Bericht handelt von einer Gruppe von Erscheinungen, die in ein solches Gebiet, nämlich in die Kapillaritätstheorie gehören. Er beabsichtigt nicht, das gesamte in den Originalarbeiten niedergelegte experimentelle und theoretische Material in allen seinen Einzelheiten zu besprechen, wobei wohl kaum auf das Interesse weiterer Kreise gerechnet werden könnte, sondern versucht lediglich eine orientierende Übersicht über die Physik der Gasblasen zu geben. Auf die kolloidchemischen Fragen einzugehen, die mit dem Thema zusammenhängen, hätte zuviel Raum beansprucht, ebenso wie die Besprechung der mehr technisch orientierenden Arbeiten, in denen die Erzeugung insbesondere von dispersen Gaszerteilungen behandelt ist. Aufzeichnungen über ziemlich umfangreiche Untersuchungen, die 1939/40 im hiesigen Institut an Gasblasen durchgeführt worden sind, konnten leider nicht mitverwertet werden, da sie in Verlust geraten sind.

Man kann Gasblasen in Flüssigkeiten erzeugen durch Verdampfen an Heizflächen, auf elektrolytischem Weg und durch Einblasen des Gases durch Düsen oder keramische Filter. Einzelblasen kann man auch dadurch der Untersuchung zugänglich machen, daß man sie mechanisch auf eine Haftfläche aufsetzt; große freie Blasen erhält man durch Auskippen eines Gefäßes. Eine dementsprechende Einteilung des Stoffes würde jedoch zu sehr an Äußerlichkeiten orientiert sein. Wir werden uns deshalb zuerst beschäftigen mit der Blasenbildung an festen Flächen im allgemeinen (Theorie des Haftens, experimentelle Ergebnisse, Entstehung der Blasen), werden dann die freien, von ihrem Entstehungsort bereits losgelösten Blasen betrachten (Gasaustausch zwischen Blase und Flüssigkeit, Aufsteigen der Blasen durch die Flüssigkeit), und nur auf die vielleicht interessanteste Methode zur Blasenerzeugung, nämlich auf die mit Hilfe von Filtern, noch besonders eingehen.

Herrn Dr. W. Bartholomeyczyk habe ich zu danken für seine Mitarbeit bei der Sichtung des recht umfangreichen Schrifttums.

I. Blasenbildung an festen Flächen.

A. Theorie des Haftens. Für das Haften einer Gasblase an einer festen Wand wird man zunächst die Grenzflächenspannung verantwortlich machen. Sie greift an am Umfang der Haftfläche, mit der die Blase auf der Wand aufsitzt, und zwar ist wirksam nur ihre Normalkomponente, die ihrerseits abhängt von der chemisch-physikalischen Natur der drei am Haftflächenumfang zusammenstoßenden Phasen (feste Wand, Flüssigkeit, Gas). Für eine auf einer horizontalen Fläche aufsitzende Blase kommt dazu noch eine hydrostatische Kraft, und wenn man die Gleichgewichtsbedingung aufstellt, kommt man zu einer Beziehung zwischen dem Volumen einer haftenden Blase und einigen die Form der Blase beschreibenden Parametern, wie Randwinkel, Krümmung der Blase im Scheitel, Höhe der Blase usw. Letzten Endes mit dieser Methode äquivalent ist eine andere Methode der analytischen Untersuchung, bei der man ausgeht von der Lösung der Grundgleichung der Kapillaritätstheorie; sie hat den Vorteil, daß man nicht nur das physikalisch Wesentliche besser übersehen, sondern auch einen Hinweis darauf erhalten kann, wann eine Blase sich von der Unterlage ablöst.

Ganz ebenso wie für einen hängenden Flüssigkeitstropfen lautet die „Kapillargleichung" für eine aufsitzende Blase

$$\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}=\frac{2}{R_s}+\frac{g\,(\varrho_1-\varrho_2)}{\alpha}\,z$$

R_1 und R_2 sind hierin die Krümmungsradien der Blase in der Meridianebene und senkrecht dazu, R_s ist der Krümmungsradius im Blasenscheitel, ϱ_1 und ϱ_2 sind die Dichten des Gases und der Flüssigkeit, und α ist die Oberflächenspannung Flüssigkeit gegen Gas; der Anfangspunkt der vertikalen z Koor-

dinate liegt dabei im Blasenscheitel. Ausgeschrieben stellen sich R_1 und R_2 dar durch die Ausdrücke

$$R_1 = \frac{\left[1+\left(\frac{dz}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 z}{d x^2}}; \quad R_2 = \frac{\left[1+\left(\frac{dz}{dx^2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\frac{dz}{dx}} \cdot X.$$

Es ist also die Kapillargleichung eine Differentialgleichung zweiter Ordnung für z als Funktion von x. Sie zu lösen ist bekanntlich eine sehr komplizierte Angelegenheit und ist nicht allgemein, sondern nur durch ein mühsames numerisches Verfahren zu leisten. Uns interessiert nun im folgenden als Ergebnis der diesbezüglichen Rechnungen (das man z. B.

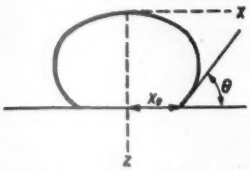


Fig. 1. Auf einer Haftfläche sitzende Blase.

in den Tabellen von Basforth und Adams niedergelegt findet) nicht so sehr die Blasenform im einzelnen, sondern lediglich das Blasenvolumen, das man aus $z = f(x)$ durch eine Quadratur erhält. Das Endergebnis läßt sich am übersichtlichsten folgendermaßen darstellen: Die Blase sitzt (*Fig. 1*) auf der Haftfläche auf mit einem Randwinkel Θ (der ebenso wie die Oberflächenspannung als eine Materialkonstante des betreffenden Dreiphasensystems anzusehen ist) und schneidet ab mit einem Haftkreis vom Radius x_0 (der von dem Blasenvolumen V abhängt). Der Zusammen-

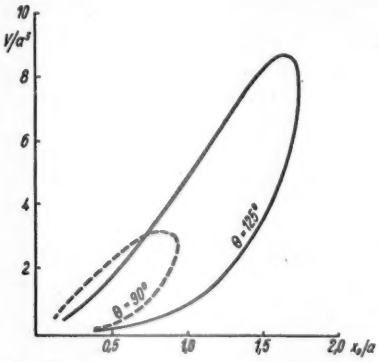


Fig. 2. Dimensionslose Darstellung der Blasengrößen.

hang zwischen V, x_0 und den Materialkonstanten a und Θ läßt sich am bequemsten wiedergeben in den dimensionslosen Größen V/a^3 und x_0/a, wo $a = \sqrt{\frac{2\alpha}{g(\varrho_1 - \varrho_2)}}$, die sogenannte Laplacesche Konstante ist und Θ als Parameter dient. Die *Fig. 2* zeigt dies für zwei Randwinkelwerte. Bemerkenswert ist daran, daß es ein Maximalvolumen gibt und daß zu jedem x_0 zwei Volumina gehören. Dies letztere hängt damit zusammen, daß es zwei Blasenformen gibt, nämlich solche ohne und mit Wendepunkt der Meridiankurve.

Alle diese Überlegungen beziehen sich auf stabile, an der Unterlage haftende Blasen und liefern das Volumen der möglichen Gleichgewichtsformen. Darüber, wann eine Blase sich von der Unterlage loslöst, sagen sie zunächst noch nichts aus und es würde auch sehr schwer sein, etwa durch Stabilitätsbetrachtungen die Theorie in dieser Richtung exakt zu vervollständigen. Es liegt nun aber nahe, das Maximalvolumen als das Volumen anzusprechen, bei dem die Blase gerade abreißt, eine Annahme, die sich experimentell unmittelbar nachprüfen läßt. Wenn sich eine Blase (bei konstantem Randwinkel) durch Gaszufuhr mehr und mehr vergrößert, nimmt ihr Volumen gemäß dem Kurvenverlauf nach *Fig. 2* zu, kann aber das Maximalvolumen in der Folge ihrer Gleichgewichtsformen nicht übersteigen. Zwingt man sie, ein noch größeres Volumen einzunehmen, so gibt es keine zu diesem gehörende Gleichgewichtsformen, d. h. sie muß entweder zerplatzen oder sich von der Haftfläche ablösen. Trifft dies letztere zu, so bedeutet dies also, daß maßgebend für die Größe der abreißenden Blasen nur der Auftrieb und die Kapillarkräfte sind, und daß andere Kräfte dabei keine Rolle spielen. Es ist zwar selbstverständlich, sei aber noch besonders betont, daß dies alles nur gilt, wenn die Blasenbildung bis zum Abreißen hinreichend langsam erfolgt. Denn nur dann ist die Gestalt der wachsenden Blase bis zur Erreichung des Abreiß (= Maximal-)Volumens durch die Kapillaritätstheorie erfaßbar, die sich ja auf statische Gleichgewichtsformen bezieht. (Nach Versuchen über das analoge Abreißen hängender Flüssigkeitstropfen wird die Sachlage für nicht mehr quasistatische Vorgänge sehr kompliziert und ist theoretisch kaum noch zu übersehen; quantitativ sind allerdings keine erheblichen Korrektionen zu erwarten, solange nicht extreme Verhältnisse vorliegen.) Eine Zusammenstellung der wichtigsten einschlägigen Arbeiten findet man bei H. Neumann und R. Seeliger, (Z. S. f. Phys. **14**, 571 [1939]).

Wenn die Blasen elektrolytisch entwickelt werden, muß man noch einige Komplikationen berücksichtigen, um eine Nachprüfung der Theorie vornehmen zu können. Am Umfang einer Haftfläche greifen allgemein drei Oberflächenkräfte an, nämlich die drei Phasengrenzspannungen γ_{12} (Flüssigkeit — Wand), γ_{13} (Flüssigkeit — Gas) und γ_{23} (Wand — Gas). Die Gleichgewichtsbedingung lautet dann, wenn wir aus später ersichtlichen Gründen γ_{23} noch beibehalten,

$$\gamma_{23} \cdot \Theta + \gamma_{12} - \gamma_{13} = 0,$$

d. h. es ist der Randwinkel Θ gegeben durch

$$\cos \Theta = \frac{\gamma_{13} - \gamma_{12}}{\gamma_{23}}.$$

Nun liegen die Dinge an der Grenze eines Metalls (2) gegen einen Elektrolyten (1) so, daß γ_{12} abhängt von dem Potential $\mathfrak{E}$ des Metalls gegen den Elektrolyten. Im sogenannten Neutralpunkt $\mathfrak{E} = l_n$ hat γ_{12} einen maximalen Wert und nimmt beiderseits ab (kapillarelektrischer Effekt). Man erklärt dies bekanntlich dadurch, daß auf der Grenzfläche eine elektrische Doppelschicht liegt, welche die Grenzflächenspannung ändert, und zwar stets erniedrigt, weil sie die Krümmung der Grenzfläche zu verkleinern strebt, während die reine kapillare Oberflächenspannung in Richtung einer Vergrößerung wirkt. Veranschaulicht wird dies durch die sogenannte Elektrokapillarkurve, die die Oberflächenspannung in Abhängigkeit vom Elektrodenpotential φ wiedergibt und im einfachsten Fall symmetrisch zum Neutralpunkt ungefähr wie eine nach unten offene Parabel aussieht. Wenn also γ_{13} und γ_{23} konstant bleiben, kann man durch Änderung von φ, d. h. durch Änderung von γ_{12} auch den Randwinkel Θ ändern, und zwar wird dann Θ von einem maximalen Wert im Neutralpunkt nach beiden Seiten hin abnehmen. Zurück-

kehrend zu den früheren Überlegungen darf man deshalb bei elektrolytischen Gasblasen nicht einfach mit einem festen Randwinkelwert als einer charakteristischen Konstante für Wand und Flüssigkeit rechnen, sondern muß den Polarisationszustand der Haftelektrode berücksichtigen. Zugleich hat man es in der Hand, für eine bestimmte Metallfläche und einen bestimmten Elektrolyten den Randwinkel zu ändern und so die oben entwickelte kapillare Abreißtheorie nachzuprüfen. Die größten Blasen sollte man im Neutralpunkt erwarten und müßte sich demgemäß zwecks Erzielung von kleinen Blasen möglichst weit vom Neutralpunkt entfernen. Eine zweite Komplikation, die allerdings quantitativ eine viel geringere Rolle spielt, sei noch erwähnt. Es scheint nämlich auch γ_{23} vom Polarisationszustand der Wand abzuhängen, und zwar ebenfalls nach Art einer Elektrokapillarkurve. Man kann dies verständlich machen durch die Annahme, daß die feste Wand vom Gas noch getrennt ist durch eine adsorbierte Flüssigkeitsschicht, worauf im einzelnen einzugehen hier aber nicht nötig ist.

B. Experimentelle Ergebnisse. Messungen über die Größe von Blasen beim Abreißen liegen vor für Dampfblasen, die an einer Heizfläche in Wasser entstehen und für elektrolytisch entwickelte Blasen.

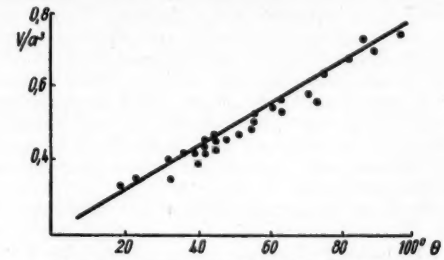


Fig. 3. Größe von Blasen verschiedener Herkunft.

Sowohl für Dampfblasen wie für elektrolytische Blasen hat sich die Theorie gut bestätigt. Man erkennt dies am anschaulichsten aus einer Darstellung der Versuchsergebnisse, in der V/a^3 gegen den Randwinkel aufgetragen ist. Nach der Theorie müßte sich

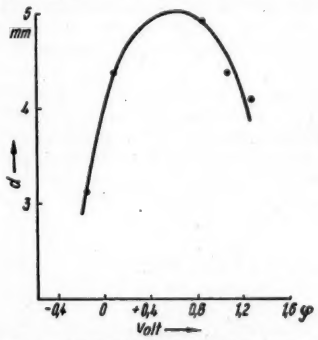


Fig. 4. Abhängigkeit des Blasendurchmessers vom Elektrodenpotential.

sehr angenähert eine Gerade ergeben; die *Fig. 3* zeigt, wie gut sich die Meßpunkte über einen weiten Bereich von Θ (also für Blasen der verschiedensten Herkunft) dieser Voraussage einfügen.

Insbesondere für elektrolytische Blasen hatte man aus der Abhängigkeit der Blasengröße von der Polarität der Elektrode, der Stromstärke, der Art und Konzentration des Elektrolyten ursprünglich geschlossen, daß außer der kapillaren Haftkraft noch eine elektrostatische Haftkraft wirksam ist. Systematische Untersuchungen auf Grund der oben erwähnten kapillarelektrischen Vorstellungen haben aber dann wohl überzeugend zu der Einsicht geführt, daß auch

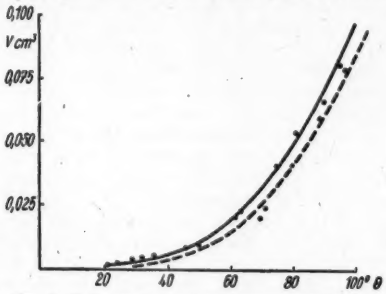


Fig. 5. Volumen elektrolytisch erzeugter Blasen.

hier die Abreißgröße bestimmt ist *nur* durch den Randwinkel, d. h. also auch hier nur die Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit und Wand als Haftkraft wirksam ist. (Der Randwinkel und damit die Blasengröße läßt sich dabei, wie oben geschildert, variieren durch den Polarisationszustand der Elektrode, wofür *Fig. 4* ein Beispiel gibt für Blasen aus 0,1 norm. H_2SO_4 an Hg.) Es genügt, die Ergebnisse zusammengefaßt an der *Fig. 5* zu zeigen. Eingetragen sind die gemessenen Blasengrößen beim Abreißen und die kapillartheoretisch errechneten Blasengrößen in Abhängigkeit von dem jeweils direkt gemessenen Randwinkel. Die durchgezogene Kurve gibt die kapillartheoretisch berechneten Blasengrößen, und zwar unter der früher erwähnten Annahme, daß das maximale Blasenvolumen zugleich auch das Abreißvolumen ist. Da man daran denken könnte, daß das Abreißvolumen noch in anderer Weise bestimmt ist, nämlich als das Volumen, bei dem zuerst die Blasenkontur einen Wendepunkt hat, sind auch die nach dieser Annahme errechneten Werte in der punktierten Kurve eingetragen. Erwähnt sei noch, daß der Randwinkel cet. par. sich mit der Zeit ändert; er nimmt zu, und zwar um so schneller, je kleiner die Blase ist, erreicht dann aber (in Zeiten, die je nach der Blasengröße zwischen zehn Minuten und Stunden liegen können) einen konstanten Endwert, auf den sich die Angaben in der Figur beziehen.

Insgesamt hat sich also ergeben, und zwar sowohl für Dampfblasen wie für elektrolytisch entwickelte Blasen, daß als Haftkraft nur die Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit und Wand eine Rolle spielt und daß man deshalb das Volumen einer Blase berechnen kann nach den üblichen kapillartheoretischen Ansätzen. Es ist dementsprechend eindeutig gegeben durch die Oberflächenspannung der Flüssigkeit gegen das Blasengas und durch den Randwinkel.

C. Entstehung der Blasen. Bisher wurden nur bereits fertig gebildete makroskopische Blasen betrachtet und die Bedingungen untersucht, unter denen sie stabil an einer Wand bestehen bzw. sich von der Wand ablösen können. Dabei war noch nicht von Interesse, wie solche Blasen überhaupt entstehen können und hierüber ist nun noch einiges nachzutragen.

Dampfblasen entstehen stets nur an gewissen ausgezeichneten Stellen der Heizfläche und steigen an jeder solchen Stelle aufeinanderfolgend in einer Kette auf. Die Frequenz ist dabei nur abhängig von der Blasengröße — sie nimmt mit zunehmendem Blasendurchmesser ungefähr hyperbolisch ab —, ist aber unabhängig von der Stärke der Heizung; mit zu-

nehmender Heizung wächst lediglich die Zahl der aktiven Stellen. Die Zeit zwischen dem Entstehen des ersten sichtbaren Blasenansatzes und dem Abreißen der Blase ist etwa ebenso groß wie die Zeit zwischen dem Abreißen einer Blase und dem Erscheinen der nächsten Blase; sie ist bei einem Blasendurchmesser von 1 mm bzw. etwa 6 mm von der Größenordnung 10^2/sec bzw. 10^1/sec und ist von den Stoffeigenschaften nur wenig abhängig. Jede Blase baut sich auf durch eine Verdampfung der Flüssigkeit in den Blasenraum hinein, und zwar aus einer kleinen Gaszelle, die als Rest der vorhergehenden Blase (Dampfhaut) haften bleibt, ein Vorgang, der sich auch rechnerisch einigermaßen erfassen läßt. Selbstverständlich lassen sich, wie nebenbei erwähnt sei, in der Regel die Blasen nur ausmessen an kinematographischen Aufnahmen und bei hinreichender Bildvergrößerung, wie überhaupt alle einschlägigen Messungen eine wohldurchdachte nicht ganz einfache Experimentiertechnik erfordern.

Komplizierter scheint die Bildung elektrolytischer Blasen vor sich zu gehen und ist im einzelnen noch nicht geklärt. Man hat z. B. im Ultramikroskop gesehen, daß sich an der Kathode ein sehr feiner disperser Nebel von Wasserstoffbläschen bildet, die offenbar negativ geladen sind, weil sie in einer Zone vor der Kathodenoberfläche liegen. Wie sich diese ersten Bläschen bilden, ist nicht festzustellen; bei höheren Spannungen erscheint sogleich an der Kathode selbst eine mikroskopische Blase, die vermutlich von invisibler Kleinheit an stetig bis über die Sichtbarkeitsgrenze angewachsen ist.

II. Freie Blasen.

Wenn sich eine Blase von ihrer Entstehungsfläche abgelöst hat, steigt sie infolge des Auftriebes in die Höhe. Die Kinematik des Aufsteigens und die Formänderungen während des Aufstieges — worüber weiter unten noch einiges zu sagen sein wird — sind dabei nicht so interessant wie gewisse andere Vorgänge, die sich dabei abspielen und auf einem Gasaustausch zwischen Blase und umgebender Flüssigkeit beruhen. Diese sollen deshalb zuerst besprochen werden.

A. Gasauslausch zwischen Blase und Flüssigkeit. Während des Aufsteigens ändert sich der hydrostatische Druck, unter dem die Blase jeweils steht. Er nimmt mit zunehmender Auftriebshöhe ab und dies bedingt eine Volumzunahme der Blase, die nach den Gasgesetzen zu übersehen ist. Es wirken von außen nach innen der hydrostatische Druck p_s und der von der Oberflächenspannung herrührende Oberflächendruck $p_0 = 2\alpha/r$ (α = Oberflächenspannung, r = Blasenradius) gegen den von innen nach außen gerichteten Gasdruck P in der Blase. Im Gleichgewicht ist also

$$P = p_s + \frac{2\alpha}{r}$$

oder wenn man aus der Gasgleichung noch $P \cdot V = P \; \frac{4}{3} r^3 \pi = \text{const}$ einsetzt

$$\left(p_s + \frac{2\alpha}{r}\right) \frac{4}{3} r^3 \pi = \text{const.}$$

Wenn die Tiefe der Blasenlage unter der Flüssigkeitsoberfläche h (cm) ist und auf der Flüssigkeit Atmosphärendruck lastet, ist $p_s = 10^6 + h \cdot 10^3$ (dyn/cm²) und man erhält (Blasenradius r in cm, α in dyn/cm) für die Abhängigkeit des Blasenradius von der Tiefe aus den beiden Gleichungen

$$r^2 \left\{(10^6 + h \cdot 10^3)\, r + 2\,\alpha\right\} = \text{const.}$$

Nun ist α von der Größenordnung 10^2 (z. B. bei 20° für Wasser gegen Luft 75, bei 100° für Wasser gegen Dampf 57). Es ist deshalb der Oberflächendruck vergleichbar mit dem hydrostatischen Druck erst für Blasenradien unterhalb von etwa 10^{-4} cm, und für größere Blasen kann also das von der Oberflächenspannung herrührende Glied vernachlässigt werden.

Untersuchungen über die Änderung der Blasengröße beim Aufsteigen liegen vor für Dampfblasen, die sich an einer Heizfläche in Wasser entwickeln. Beim Aufsteigen schwellen die Blasen an, aber es kann dies Anschwellen nicht quantitativ durch die Abnahme des hydrostatischen Druckes bedingt sein. Es kommt hier vielmehr daher, daß Flüssigkeit in den Blasenraum hinein verdampft. Wenn das Blasenvolumen pro Zeiteinheit um ΔV zunimmt, so muß dazu eine Wärmemenge $\Delta Q = \frac{w}{v} \Delta v$ an die Blasenwand transportiert worden sein (w = Verdampfungswärme, v = spez. Volumen des Dampfes) und deshalb ein Temperaturgefälle von der umgebenden Flüssigkeit gegen den Blasendampf bestehen. Bei einer ruhenden Blase in einer unbewegten Flüssigkeit würde sich dies Temperaturgefälle nach den Gesetzen der Wärmeleitung ausbilden, aber in Wirklichkeit wird diese Wärmeleitung natürlich stets gestört sein durch einen konvektiven Wärmetransport und man wird dann anzunehmen haben, daß das ganze Temperaturgefälle in einer dünnen Schicht an der Blasenoberfläche zusammengedrängt ist. Wie dem auch sei, jedenfalls kann man die einschlägigen Wärmetransportprobleme recht genau durchrechnen und kann dann so z. B. aus kinematographischen Aufnahmen der während des Aufsteigens anwachsenden Blasen auch die an die Blase übergehende Wärmemenge finden.

Etwas anders liegen die Dinge bei Gasblasen in kalten Flüssigkeiten. Das physikalisch Wesentliche kann man am besten erkennen aus folgender Überlegung. Eine Gasblase sei in einer Flüssigkeit suspendiert, in der Gas gelöst ist. Dann ist in der unmittelbar an die Blase grenzenden Schicht die Flüssigkeit mit Gas gesättigt, und zwar nach dem Henryschen Lösungsgesetz entsprechend der Temperatur des gesamten Systems und entsprechend dem Gasdruck in der Blase, der sich aus dem Kapillardruck und dem hydrostatischen Druck zusammensetzt. Sie enthält also pro Volumeinheit eine bestimmte Gasmenge, die proportional dem Blasendruck P ist. Andererseits herrscht in der Flüssigkeit der Druck p, dem entsprechend die Gleichgewichtsmenge gelösten Gases in einiger Entfernung von der Blase eingestellt ist, so daß ein osmotischer Druckunterschied $\sim (P-p)$ des Gases zwischen Blasenoberfläche und Flüssigkeitsinnerem vorhanden ist, der sich durch Diffusion oder Konvektion in der Flüssigkeit auszugleichen bestrebt ist. Eine jede Blase wird sich also infolge ihres kapillaren Drucks von selbst verkleinern, wobei Blasengas in Lösung geht; der Ausgleich erfolgt unter idealen Bedingungen durch Diffusion, in praxi aber wohl immer vorwiegend durch Konvektion. Sind in der Flüssigkeit verschieden große Blasen, so wachsen, wie man nun unmittelbar erkennt, die größeren auf Kosten der kleineren, bis diese ganz aufgelöst sind. Wenn die Flüssigkeit mit Gas übersättigt ist, kann es natürlich bei nicht zu kleinen Blasen auch vorkommen, daß umgekehrt Gas in die Blase einwandert und diese spontan anwächst; auf diese Sonderfälle einzugehen, führt jedoch nicht zu grundsätzlich neuen Überlegungen. Von besonderem Interesse ist es hingegen, sich zu überlegen, was passiert, wenn man das Lösungsgleichgewicht in der Flüssigkeit durch eine Änderung des Druckes stört, im Versuch also

z. B. dadurch, daß man den auf der Flüssigkeit lastenden Außendruck rasch ändert. Wenn der Druck vergrößert wird, wird dann simultan der Druck in der Blase um ebensoviel vergrößert und es muß deshalb Gas aus der Blase in die anliegende Flüssigkeitsschicht übergehen, d. h. die Blase muß beginnen, kleiner zu werden; und umgekehrt muß bei einer Verminderung des Außendruckes Gas aus der Flüssigkeit in die Blase einzuwandern beginnen. Man kann nun einerseits einen solchen Versuch anstellen und kann andererseits den Gasaustausch zwischen Blase und Flüssigkeit berechnen nach den Ansätzen der üblichen Diffusionstheorie; man kann also z. B. den Diffusionskoeffizienten des Gases in der Flüssigkeit aus der experimentell bestimmbaren zeitlichen Änderung des Blasenradius ermitteln.

Über die Geschwindigkeit, mit der der Vorgang des Gasausgleichs abläuft, kann man sich folgendermaßen Aufschluß verschaffen. Wenn sich die Blase relativ zur Flüssigkeit bewegt, wie dies praktisch stets der Fall sein wird (und nur unter besonderen Vorsichtsmaßregeln im Laboratoriumsversuch zu vermeiden ist), wird das Gas an der Blasenoberfläche durch Konvektionsdurchmischung stets auf der dem äußeren Druck p entsprechenden Gleichgewichtskonzentration gehalten. Nur dicht an der Oberfläche liegt eine Flüssigkeitshaut, in der die Konzentration dem Druck P in der Blase entspricht. Von dieser Haut aus geht das Gas in die Flüssigkeit über in einer Volummenge pro Flächen- und Zeiteinheit, die proportional $P - p$ ist; der Proportionalitätsfaktor k ist dabei gegeben durch einen „Übergangskoeffizienten" (der der Wärmeübergangszahl bei den analogen Abkühlungsvorgängen vollständig entspricht) und durch den sogenannten „Absorptionskoeffizienten", der angibt, wie groß der osmotische Druck des gelösten Gases beim Druck 1 ist. Betrachtet man zuerst den einfachsten Fall, daß keine Druckänderung vorgenommen wurde und Gas in die Flüssigkeit austritt lediglich infolge des kapillaren Überdrucks in der Blase, so ist $p - P = 2\,\alpha/r$ und es ist also das in der Zeiteinheit aus der Blase in die Flüssigkeit übergehende Gasvolumen

$$-4\,\pi r^2 \cdot \frac{d\,r}{d\,t} = k \cdot \frac{2\,\alpha}{r}\,4\,\pi r^2$$

oder

$$-\frac{d\,r}{d\,t} = \frac{2\,k\,\alpha}{r} \quad (k \approx 10^6\ \mathrm{cm^2/min})\,.$$

Für eine Blase von z. B. 10^{-2} cm Radius würde es demnach ungefähr 10 Minuten dauern, bis der Blasenradius sich infolge der Kapillardruckgasung um 10% verkleinert hat und es würde in dieser Zeit 10^{-6} cm³ Gas in die Flüssigkeit übergehen.

Unmittelbar anschließen läßt sich nun auch die Diskussion für den Fall, daß der Druck in der Flüssigkeit rasch (genauer gesagt, in einer Zeit, die kurz ist gegen die Relaxationszeit der in der Blase eintretenden Änderungen) um den Betrag $\Delta\,p$ geändert wird. Dann lautet nämlich die der obigen Gleichung entsprechende

$$-\frac{d\,r}{d\,t} = k\left(\frac{2\,\alpha}{r} + \Delta\,p\right)$$

und ihre Lösung mit der Anfangsbedingung $r = r_0$ für $t = 0$ lautet

$$\frac{r_0 - r}{\Delta\,p} - \frac{2\,\alpha}{\Delta\,p^2}\ln\frac{r_0\,\Delta\,p + 2\,\alpha}{r\,\Delta\,p + 2\,\alpha} = k\,t\,.$$

Für größere Blasen, wo der Außendruck den Kapillardruck überwiegt, nimmt also der Blasenradius in gleichen Zeiten um gleiche Beträge zu, während für sehr kleine Blasen, wo umgekehrt der Kapillardruck überwiegend ist, sich die Blasenoberfläche in gleichen Zeiten um gleiche Beträge ändert. Komplizierter, wenn auch grundsätzlich nach demselben Schema zu behandeln, ist die Sachlage, wenn der Druck in der Flüssigkeit dauernd schwankt, also z. B. harmonisch um den statischen Druck mit einer Amplitude $\Delta\,p$ pendelt. Vorgänge dieser Art spielen eine Rolle beim Durchgang von Schallwellen durch eine Flüssigkeit, in der Blasen suspendiert sind, und sind, nebenbei bemerkt, vermutlich beteiligt an der Dämpfung der Wellen.

B. Aufsteigen der Blasen durch die Flüssigkeit. Wie schon erwähnt, sind die Gesetze des Aufsteigens von Blasen in der Flüssigkeit, d. h. nun abgesehen von den eben behandelten Änderungen der Blasengröße, die Bewegungsgesetze des Blasenschwerpunktes, von geringerem Interesse. Nur eine Folgerung aus den diesbezüglichen Beobachtungen ist von grundsätzlicher Bedeutung.

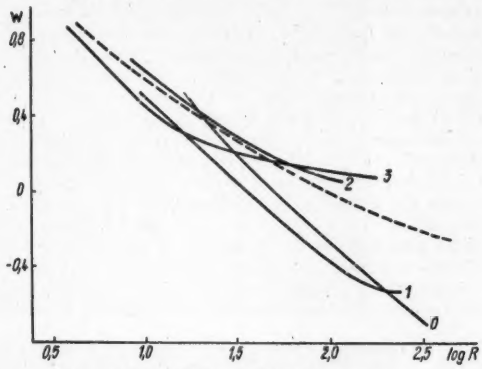


Fig. 6. Widerstand in Abhängigkeit von der Reynoldschen Zahl für feste Kugeln und Luftblasen.

Man wird vermuten, daß größere Blasen beim Aufsteigen sich stark deformieren und im Mittel eine abgeplattete ellipsoidische Gestalt annehmen, und zwar mit der Breitseite senkrecht zur Bewegungsrichtung. Zugleich ist mit diesen (einigermaßen periodisch erfolgenden) Deformationen eine ziemlich komplizierte, ungefähr schraubenförmige Bahn des Blasenschwerpunktes verbunden und u. U. auch eine rotatorische Bewegung der ganzen Blase. Kleine Blasen hingegen sollten ungefähr kugelförmig bleiben und mit recht konstanter Geschwindigkeit aufsteigen. Die diesbezüglichen Beobachtungen stimmen auch im wesentlichen mit diesen Vermutungen überein. Interessanter ist, daß zwar für kleine Blasen ($2\,r \lesssim 0{,}4$ mm) — wie zu erwarten war — die Stokessche Formel für die Aufsteigegeschwindigkeit gilt und sie sich also verhalten wie feste Kugeln, daß hingegen schon für Blasen von mittlerer Größe (Durchmesser $2\,r \approx 1$ mm) sich die Aufsteigegeschwindigkeit nicht mehr in Übereinstimmung mit dieser Formel ergeben zu haben scheint, obwohl die Blasenform nicht merklich von der Kugelform abweicht, die Blasen also so „steif" sind, daß sie sich eigentlich auch wie feste Kugeln verhalten müßten.

Man kann dies erkennen an der *Fig. 6* in dimensionsloser Darstellung für feste Kugeln und für Luftblasen in Wasser, in einem Wasser-Alkoholgemisch und in zwei Wasser-Glyzeringemischen. Zum Verständnis dieser in der Hydrodynamik üblichen Darstellungsweise sei daran erinnert, daß maßgebend

für die kinematische Ähnlichkeit von Flüssigkeitsbewegungen die Reynoldsche Zahl $R = \frac{2rv}{\nu}$ ist (r = Radius (mm), v = Steigegeschwindigkeit (cm/sec), ν = kinematische Zähigkeit (cm²/sec) und daß man den „Widerstand" ansetzt in der Form W = c. p. F = Widerstandszahl × Staudruck × Querschnittsfläche. Man sieht aus der Figur, daß eine Blase sich verhält wie eine feste Kugel (punktierte Kurve) nur, wenn sie entweder genügend klein oder wenn die Zähigkeit der Flüssigkeit genügend groß ist, und man bestätigt für Wasser leicht die oben formulierten Behauptungen. Eigentümlich ist ferner, daß der Widerstand einer Blase viel geringer sein kann als der einer festen Kugel von derselben Größe und daß dies zudem nur für gewisse Flüssigkeiten der Fall ist, wie dies ein Vergleich der Kurven z. B. für das Wasser-Alkoholgemisch und für das eine der Wasser-Glyzeringemische besonders deutlich zeigt. Als Erklärung liegt nahe, daß das Verhalten der Oberflächenschicht der Blase mitspielt, und zwar etwa in dem Sinne, daß sich bei der Bewegung einer Blase durch eine Flüssigkeit diese Oberflächenschicht mehr oder minder schnell neu bildet; wenn die Oberflächenschicht eine große Relaxationszeit hat, wird sich die Blase wie ein quasistarrer Körper verhalten, während bei kleiner Relaxationszeit die Blase gewissermaßen durch die Flüssigkeit „hindurchgleiten" kann. Eingehendere Untersuchungen hierüber liegen noch nicht vor, aber es ist unmittelbar zu erkennen, daß Effekte solcher Art ganz allgemein für das Verhalten von Blasen in bewegten Flüssigkeiten eine vielleicht sehr erhebliche Rolle spielen können.

III. Blasenbildung an Fillern und Düsen.

Insbesondere für technische Zwecke und hier wiederum mit dem Ziel der Herstellung von Gaszerteilungen hohen Dispersitätsgrades kommen Injektoren, Turbomischer und dergleichen in Betracht, über deren konstruktive Einzelheiten gesondert zu berichten wäre. Über die Größe und Homogenität der entstehenden Blasen scheinen systematische Versuche noch nicht vorzuliegen. Auch über die physikalischen Vorgänge beim Zerteilen ist hier im einzelnen noch nichts bekannt und wohl auch kaum eine restlose Klärung möglich und lohnend. Bekannt ist lediglich als Arbeitsmethode allgemeiner Art, das Gas unter Unterdruck zu zerteilen und dann erst die Dispersion auf den Verwendungsdruck zu komprimieren, wobei eine Verkleinerung der Blasenvolumina im Verhältnis Erzeugungsdruck: Verwendungsdruck stattfindet.

Genauer untersucht sind die Zerteilungen, die man beim Einpressen von Gas in Flüssigkeiten durch feinporige Filter aus Glas oder keramischen Massen erhält. Die Porenweiten dieser Filter liegen zwischen einigen μ und etlichen 100 μ, aber natürlich hat ein Filter nicht nur Poren einer bestimmten Weite, sondern diese ist bei den einzelnen Filtern verschiedenen Feinheitsgrades nur im Mittel in ziemlich breiten Bereichen abgestuft (vgl. dazu z. B. die nachfolgende Tabelle); sie kann bestimmt werden z. B. aus dem Überdruck, bei dem das Filter zu gasen beginnt (Einstein-Bechholdsche Regel). Mit zunehmendem Überdruck beginnt zuerst eine (nämlich die weiteste) Pore zu gasen, bis zuletzt das ganze Filter anscheinend gleichmäßig gast. Aus dem bisher vorliegenden Versuchsmaterial lassen sich die folgenden Ergebnisse entnehmen:

Die Blasengröße nimmt zu mit zunehmender Porenweite. Aber stets ist der Blasendurchmesser ganz erheblich größer als der Porendurchmesser. Eine Herabsetzung der Porenweite unter ein gewisses Maß zwecks Erzielung möglichst kleiner Blasen ist deshalb nutzlos. Die folgenden Zahlen geben eine Übersicht über die Sachlage für Wasser und für den Fall, daß das ganze Filter gast. Die beiden Reihen für d rühren her von verschiedenen Beobachtern an verschiedenen Filterarten; sie sind deshalb quantitativ nicht unmittelbar vergleichbar, aber sie gehen in demselben Sinn.

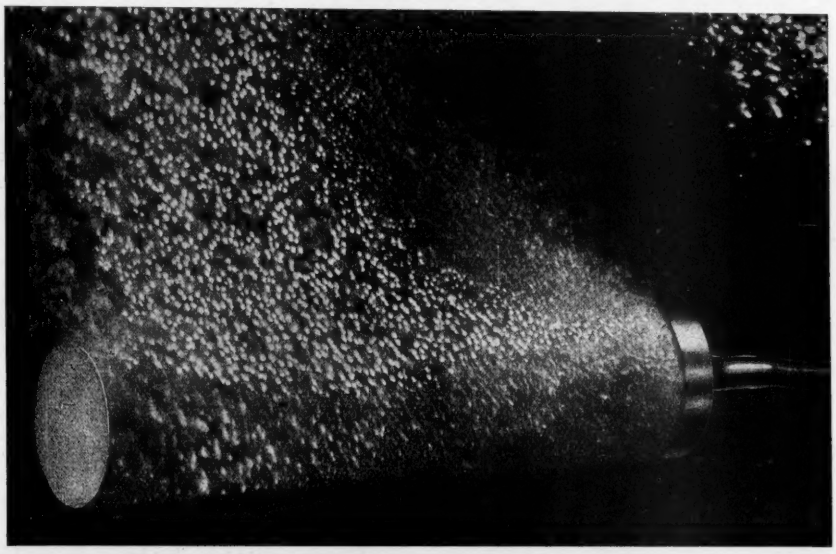
Porendurchmesser D (mm)	Blasendurchmesser d (mm)		d/D (Mittel)
0,030—0,020	0,5	0,5	20
0,025—0,035	0,5	0,8	20
0,045—0,070	0,8	1,2	18
0,130—0,160	1,2	2,8	15
0,200—0,380	2,2	—	8

Man hat sich dies so vorzustellen, daß an der Bildung einer Blase nicht nur jeweils eine Pore beteiligt ist, sondern daß aus vielen Poren kleinste Bläschen entstehen und sich diese dann erst zu einer größeren, beobachteten Blase vereinigen. Diese reißt ab, wenn die Haftkraft überwunden wird, wobei die Oberflächenbeschaffenheit des Filters natürlich eine gewisse Rolle spielt, wenn auch charakteristische Materialeigenschaften des Filtermaterials nicht wesentlich von Einfluß zu sein scheinen. Die abgelösten, frei aufsteigenden Blasen hingegen vereinigen sich nicht, wenn sie zufällig zusammentreffen, sondern stoßen sich ab. Eine gleichsinnige elektrische Aufladung der Blasen ist dafür wohl kaum verantwortlich zu machen, weil sie zusammenfließen, wenn sie z. B. nach unten statt nach oben ausgestoßen werden. In diesem Zusammenhang ist vielleicht noch erwähnenswert der Befund, daß die Aufstiegsgeschwindigkeit der Blasen unmittelbar nach dem „Abreißen" am größten ist, dann mit zunehmender Aufstiegshöhe abnimmt zu einem Minimum, und von da ab wiederum zunimmt bis zur Flüssigkeitsoberfläche. Diese letztere Zunahme erklärt sich aus der Zunahme der Blasengröße infolge der Abnahme des auf der Blase lastenden hydrostatischen Druckes, aber die Abnahme zu einem Minimum kann wohl nicht einfach dahin gedeutet werden, daß das Gas die Filterporen mit einer gewissen Anfangsgeschwindigkeit verläßt und diese dann abgebremst wird. Vielleicht spielt dabei eine Rolle eine gemeinsame Strömung der ganzen Flüssigkeit in der Nähe der Filteroberfläche.

Die Blasengröße nimmt zu mit zunehmendem Überdruck. Wenn man den Überdruck noch weiter (über den für erstmaliges gleichmäßiges Gasen erforderlichen) steigert, nimmt die Blasengröße weiter zu, scheint aber dann einen Endwert zu erreichen, der unabhängig von der Porenweite bei etwa 5—6mm horizontalem Blasendurchmesser liegt. Dies letztere würde verständlich sein aus der oben schon erwähnten Annahme, daß die Blase abreißt, wenn die Haftkraft von den auftreibenden Kräften überwunden wird. Aber schon der Befund, daß es auch kleinere Blasen gibt, nämlich bei kleineren Überdrucken, zeigt, daß der Mechanismus der Blasenablösung noch nicht vollständig geklärt ist. Die Blasendichte hingegen nimmt eindeutig zu mit zunehmendem Druck, und zwar wohl einfach deshalb, weil bei einer Drucksteigerung ständig mehr Poren zum Gasen gebracht werden.

Von besonderem Interesse, aber noch nicht eindeutig beantwortet, ist die Frage, welchen Einfluß die Natur der Flüssigkeit auf die Blasengröße hat. Als maßgebende Materialkonstante kommen zunächst in Betracht die Oberflächenspannung α und die innere Reibung η. Übereinstimmend hat sich

zwar ergeben, daß oberflächenspannungserniedrigende Zusätze (kapillaraktive Stoffe) die Blasengröße außerordentlich erniedrigen und zu fein dispersen Zerteilungen führen; man sieht dies sehr eindrucksvoll z. B. für Luft in Wasser und in Wasser mit einem kleinen Alkoholzusatz auf den Bildern 7a und b. Sie sind aufgenommen mit Filterkerzen aus Diatom ultra D (Porendurchmesser 10—20μ, mittl. Porenzahl 250 000/cm^2) bei einem Überdruck oberhalb des Stadiums, in dem die ganze Filteroberfläche gerade gleichmäßig gast. Aber umstritten ist noch der Einfluß der inneren Reibung. Man könnte hier daran denken, daß mit zunehmender innerer Reibung die Blasengröße abnimmt, weil die Beweglichkeit kleinster Blasen geringer wird und deshalb die Vereinigung vieler, aus den einzelnen benachbarten Poren austretender (und als solche noch *invisibler*) Blasen zu einer beobachtbaren größeren Blase erschwert ist. Untersuchungen nicht nur an Blasen aus Filtern, sondern auch an Blasen, die durch Einführen oder Schütteln oder auf elektrolytischem Weg erzeugt wurden, schienen diese Hypothese zu bestätigen.



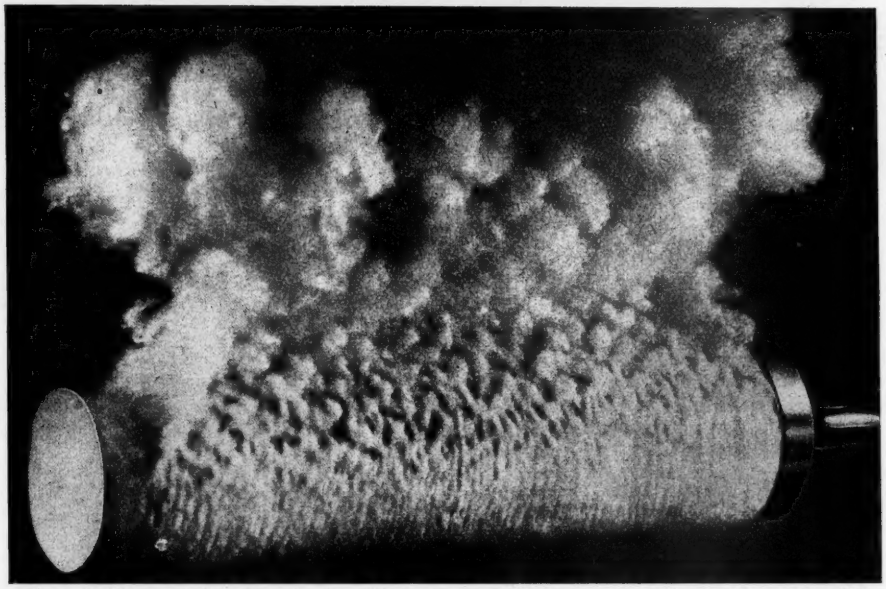


Fig. 7a. Luftblasen aus einem Filter in reinem Wasser. Fig. 7b. Luftblasen aus einem Filter in Wasser und Alkohol.

Neuere Versuche konnten jedoch keine Bestätigung erbringen und die Frage, ob neben der Oberflächenspannung noch andere physikalische Eigenschaften maßgebend sind, muß noch offen bleiben. Sichergestellt scheint hingegen wiederum zu sein, daß in Elektrolyten die Blasengröße klein ist; vielleicht deshalb, weil die Blasen geladen sind und ihre gegenseitige elektrostatische Abstoßung eine Vereinigung zu größeren Blasen erschwert.

Eingegangen am 8. August 1948.

Literatur.

Aus dem einschlägigen ausgedehnten Schrifttum sind im folgenden nur die wichtigsten Arbeiten zusammengestellt. In diesen Arbeiten findet man weitere Hinweise. Eine zusammenfassende Darstellung gibt es bisher noch nicht.

(1) Auerbach, Kolloidzeitschrift, **74**, 129 (1936); **77**, 161 (1936); **80**, 27 (1937). — (2) Bryn, Forschungen a. d. Geb. d. Ingenieurwesens, **4**, 27 (1937). — (3) Coehn u. Neumann, ZS. f. Phys. **20**, 54 (1923). — (4) Fritz, Phys. ZS., **36**, 379 (1935). — (5) Fritz u. Emde, Phys. ZS. **37**, 391 (1936). — (6) Frumkin u. Mitarb., Phys. ZS. d. Sowjetunion, **1**, 255 (1932). — (7) Fricke, ZS. Phys. Chem. **104**, 363 (1923). — (8) Halberstadt u. Prausnitz, ZS. f. angewandt. Chemie **43**, 970 (1930). — (9) Hoefer, VDI Zeitschrift **57**, 1174 (1913). — (10) Kabanow u. Frumkin, ZS. f. Phys. Chemie (A) **165**, 443 (1933); **166**, 316 (1933). — (11) Kohlschütter, ZS. f. Elektrochemie **30**, 164 (1924). — (12) Luchsinger, Kolloidzeitschrift **81**, 180 (1937). — (13) Mache, Wien. Ber. **138** (2a), 529 (1929). — (14) Prausnitz, Kolloidzeitschrift **76**, 227 (1936). — (15) Rudolph, Kolloidzeitschrift **60**, 308 (1932). — (16) Schnurmann, ZS. Phys. Chem. **143**, 456 (1929); Kolloidzeitschrift **80**, 148 (1937); **87**, 127 (1939). — (17) Wark, Journ. Phys. Chem. **37**, 623, (1933); **37**, 623 (1933).

Untersuchungen über Kontaktkatalyse.[1])

Von A. Eucken.

Einleitung.

Es ist bekannt, daß zahlreiche chemische Umsetzungen nicht in einem Zuge von den Ausgangsstoffen zu den Endprodukten verlaufen, sondern stufenweise über mehrere aufeinanderfolgende einfachere Teilreaktionen. Diese Stufen, wie überhaupt die Tatsache des Zusammengesetztseins einer unmittelbar verfolgbaren Bruttoreaktion, sind aber in der Regel nicht direkt erkennbar. Ganz allgemein zerfällt daher die Untersuchung irgendwelcher gerade interessierender chemischer Umsetzungen vom Standpunkt der Reaktionskinetik in zwei Aufgaben:

1. die Auflösung der Gesamtreaktion in einzelne sich aneinanderreihende einfachere Reaktionsstufen;

2. eine eingehendere Erforschung der einzelnen Teilreaktionen vom experimentellen wie auch vom theoretischen Standpunkt.

Es ist einleuchtend, daß bei der aus Teilreaktionen bestehenden Reaktionsfolge irgendwelche, oft labile Zwischenprodukte entstehen werden, deren Nachweis und Identifizierung einen wichtigen, häufig aber recht schwierigen Teil der zu lösenden Gesamtaufgabe bildet.

Das geschilderte Verfahren hat nun auf dem Gebiete der homogenen Gasreaktionen dank der Arbeiten von Bodenstein, Hinshelwood, Cassel und zahlreicher anderer Forscher zu sehr beachtlichen Erfolgen geführt; allerdings handelt es sich hierbei im Grunde mehr um Lösungen der ersten Teilaufgabe, während die Erfassung der in Frage kommenden Teilreaktionen, vor allem in theoretischer Hinsicht, selbst in den einfachsten Fällen nur recht unvollkommen gelungen ist.

Größere Schwierigkeiten noch als eine Erforschung der Reaktionen in der homogenen Gasphase bieten die sogenannten *Kontaktreaktionen*, bei denen sich der Umsatz der Gase unmittelbar auf der Oberfläche eines geeigneten festen Körpers, des sogenannten Kontaktes, vollzieht. Die Zahl der über kontaktkatalytische Gasreaktionen veröffentlichten Arbeiten ist zwar mindestens ebenso groß wie die über eigentliche Gasreaktionen — es sei nur auf das von G. M. Schwab herausgegebene „Handbuch der Katalyse" hingewiesen (1); doch sind die auf diesem Gebiete bisher erhaltenen Ergebnisse alles in allem weniger befriedigend als bei der homogenen Gaskinetik, was sich vor allem darin äußert, daß die von den einzelnen Autoren erhaltenen Resultate sowohl in experimenteller wie in theoretischer Hinsicht hier wesentlich stärker divergieren als dort. Nur in besonders einfachen Fällen, z. B. bei der kontaktkatalytischen Vereinigung von H- und N-Atomen zu Molekeln an hoch erhitzten Metallen, konnte der Reaktionsmechanismus weitgehend aufgeklärt werden (2).

Eingehende, systematischer als bisher durchgeführte Untersuchungen über Kontaktkatalysen bilden daher auch heute noch eine dringende Aufgabe der physikalisch-chemischen Forschung, zumal die chemische Industrie sich auf Grund rein empirischer Erkenntnisse schon seit langer Zeit in größtem Ausmaße und mit bestem Erfolge kontaktkatalytischer Gasreaktionen zur Herstellung von Schwefelsäure, Ammoniak, Methylalkohol und anderer wichtiger Produkte bedient.

1. Allgemeine Vorstellungen über das Zustandekommen von Kontaktkatalysen.

Will man versuchen, den bei einer Kontaktkatalyse sich abspielenden Reaktionsmechanismus durch ein möglichst einfaches und allgemeines Schema zu veranschaulichen, so liegt es nahe, eine Parallele zu einem *Kettenmechanismus* zu ziehen, nach welchem zahlreiche Gasreaktionen ablaufen. Das bekannteste Beispiel für einen solchen bietet wohl die Chlorknallgasvereinigung:

$$H_2 + Cl_2 = 2\,HCl\,,$$

deren Bruttoumsatz nach Nernst über folgende Teilreaktionen erfolgt:

$$\mathbf{Cl_2 \rightarrow 2\,Cl} \qquad \text{Startreaktion}$$

$$\left.\begin{array}{l} H_2 + \mathbf{Cl} \rightarrow HCl + \mathbf{H} \\ \mathbf{H} + Cl_2 \rightarrow HCl + \mathbf{Cl} \\ \mathbf{Cl} + H_2 \rightarrow HCl + \mathbf{H} \end{array}\right\} \text{Reaktionskette}$$

usw.

Charakteristisch für diesen Mechanismus ist die *dauernde Regenerierung* gewisser reaktionsfähiger Atome oder Radikale (hier handelt es sich um Cl- und H-Atome), die als *Kettenträger* bezeichnet zu werden pflegen (Cl als primärer Kettenträger). Allerdings hat man bei der Chlorknallgasvereinigung keinen katalytischen Prozeß vor sich; ein einfaches Beispiel für einen solchen bietet aber der durch Jod katalysierte Zerfall des Äthylenjodids $C_2H_4J_2 \rightarrow C_2H_4 + J_2$, für welchen nach Schumacher (3) folgender Reaktionsmechanismus anzunehmen ist:

$$\mathbf{J_2 \rightarrow 2\,J} \qquad \text{Startreaktion}$$

$$\left.\begin{array}{l} C_2H_4J_2 + \mathbf{J} \rightarrow J_2 + \mathbf{C_2H_4J} \\ \mathbf{C_2H_4J} \rightarrow C_2H_4 + \mathbf{J} \end{array}\right\} \text{Reaktionskette}$$

usw.

[1]) Erweiterte Fassung eines am 1. September 1948 auf der Haupttagung der Gesellschaft Deutscher Chemiker gehaltenen Vortrages.

Auf eine Erörterung der Gründe, warum der Umsatz hier und in zahlreichen analogen Fällen nicht unmittelbar auf dem durch die Bruttoreaktion angezeigten Wege vollzogen wird (wie dies bei der HJ-Bildung aus den Elementen tatsächlich geschieht), sondern auf dem Umwege über die Reaktionskette, muß hier verzichtet werden (4). Anstatt dessen sei das, worauf es ankommt, durch eine Analogie erläutert:

Zwei etwa gleich hoch gelegene Städte sind in der Luftlinie nicht weit voneinander entfernt, doch liegt unmittelbar zwischen ihnen ein hoher Gebirgszug. Es existiert aber außerdem noch ein an sich sehr viel weiterer Weg, der meist im Tale verläuft und nur die Überwindung eines relativ niedrigen Passes erfordert. Auch für moderne Verkehrsmittel wird es vermutlich, wenn es sich um den Transport großer Lasten handelt, sehr viel vorteilhafter sein, diesen weiteren Weg einzuschlagen als den sehr viel kürzeren über den Gebirgszug[2]).

Tatsächlich ist in der Reaktionskinetik ein der Höhe des Gebirgszuges bzw. des niedrigen Passes durchaus entsprechender Begriff, die sog. *Aktivierungsenergie* AE, von besonderer Bedeutung, indem die Reaktionsgeschwindigkeit dem Faktor $\exp. -\frac{AE}{RT}$ unmittelbar proportional zu setzen ist (R = Gaskonstante, T = abs. Temperatur); sie ist also bei großem AE (Bruttoreaktion) geringer als bei kleinem (Reaktionskette).

Einen wertvollen Schlüssel zum Verständnis der Kontaktkatalysen gewinnt man nun durch die Auffassung, daß auch hier der Umsatz im Prinzip über einen Kettenmechanismus vor sich geht. Allerdings besteht ein charakteristischer Unterschied gegenüber zusammengesetzten Gasreaktionen darin, daß hier nicht freie Radikale oder Atome, sondern *die an der Kontaktoberfläche liegenden Atome bzw. mehr oder weniger labile Oberflächenverbindungen die Rolle der Kettenträger* übernehmen. Daß in zahlreichen Fällen die Oberflächenatome eines Festkörpers in bezug auf ihre chemische Reaktionsfähigkeit zu freien Radikalen bzw. Atomen in Parallele gestellt werden können, ist einleuchtend. Haber wies gelegentlich einmal darauf hin, daß von der Oberfläche, vor allem bei unpolaren Festkörpern und Metallen, unabgesättigte Valenzkräfte in den umgebenden Raum ausgehen müssen. Ein weiterer Unterschied zwischen Kettenreaktionen in der homogenen Gasphase und Kontaktreaktionen besteht darin, daß hier in der Regel, wenigstens bei unvergifteten Kontakten, eine „Startreaktion" überhaupt nicht mehr erforderlich ist; während nämlich die Kettenträger bei Gasreaktionen durch die für den Gesamtumsatz meist stark ins Gewicht fallende Startreaktion erst erzeugt werden müssen und in der Regel nur in recht geringen Konzentrationen auftreten, steht bei Kontaktreaktionen von vornherein eine recht große Zahl von Oberflächenatomen als primäre Kettenträger zur Verfügung. Ein sehr einfaches, dem Jod-katalysierten homogenen Äthylenjodidzerfall analoges Beispiel für eine solche Kontaktreaktion bietet die Dissoziation des Stickoxyduls an Metallen (z. B. an Gold):

$$N_2O \rightarrow N_2 + \tfrac{1}{2} O_2,$$

welche nach dem Reaktionsschema

$$N_2O + [Au] \rightarrow N_2 + [AuO]$$
$$[AuO] \rightarrow \tfrac{1}{2} O_2 + [Au]$$

verläuft (eingeklammert sind die Symbole von Oberflächenatomen oder -verbindungen). Die Erniedrigung der Aktivierungsenergie und damit die Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit gegenüber den entsprechenden Größen bei der Gasreaktion kommt hier in erster Linie dadurch zustande, daß die in der Oberfläche liegenden Goldatome eine gewisse Anziehungskraft auf die noch im Verband der N_2O-Molekeln befindlichen O-Atome ausüben, so daß sich die Oberflächenverbindung [AuO] relativ leicht bildet. Diese wandelt sich aber durch Vereinigung je zweier O-Atome relativ rasch (mit einer Wärmetönung von etwa 28 Kcal/gr atom O) in [Au] und O_2-Molekeln um, die nicht mehr merklich von dem Golde festgehalten werden und daher ohne Hemmung in den Gasraum entweichen.

Ein passend gewählter Kontakt, z. B. Wolframsulfid (auch Ni), leistet aber noch wesentlich mehr als die bloße Beschleunigung eines auch im Gasraum sich langsam vollziehenden Umsatzes. Beispielsweise vermag er Isomerisierungen von gesättigten Kohlenwasserstoffen herbeizuführen, Reaktionen, die in der Gasphase unterhalb der Zerfallstemperatur überhaupt nicht vonstatten gehen (7). Die Erklärung dieser Wirkung beruht auf folgendem: An der Oberfläche des Kontaktes befindet sich in chemisch adsorbiertem Zustande eine gewisse Menge H-Atome. Betrachten wir als einfaches Beispiel die Verwandlung von Isopentan

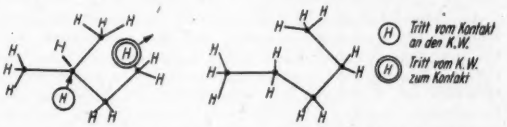


Fig. 1. Modellmäßige Darstellung einer Thomerisierung.

und Pentan. Beide Kohlenwasserstoffe werden von dem Kontakt gleichfalls, wenn auch nicht allzu stark adsorbiert. Das gegenüber der Normalform etwas deformierte Skelett des Isopentans wird auf Fig. 1 (links) durch die stark ausgezogene Figur dargestellt. Da der Kontakt eine gewisse Affinität zu H-Atomen hat und teilweise, aber nicht vollständig mit solchen Atomen belegt ist, kann der Fall eintreten, daß in einem Punkte ein ursprünglich an den Kontakt gebundenes H-Atom eine Bindung mit dem C-Atom der CH-Gruppe eingeht, während umgekehrt in einem anderen Punkte von einer der CH_3-Gruppen ein H-Atom sich von dieser ablöst und eine Bindung mit dem Kontakt eingeht. Gleichzeitig findet, wie die Figur andeutet, eine Umgruppierung der die Kohlenstoffatome verkettenden Valenzelektronen statt (der gesamte Prozeß vollzieht sich in einem Zuge), wodurch die Verwandlung des Isopentans in eine, wenn auch deformierte normale Pentanmolekel vollzogen ist. Wir haben hier ein typisches Beispiel für eine sog. *Auslausch- oder Übertragungskatalyse* vor uns, die dadurch gekennzeichnet ist, daß der von vornherein mit einem für den Reaktionsablauf wichtigen Zwischenstoff teilweise belegte Kontakt an einer Stelle an den Hauptreaktionspartner eine Partikel dieses Zwischenstoffes abgibt und gleichzeitig an einer anderen Stelle eine andere Partikel aufnimmt (7). Nach dieser Vorstellung findet somit im Prinzip keine Wanderung des Zwischenstoffes statt, wie man solche eventuell bei einer Isomerisierung des Pentans sonst annehmen müßte, sondern ein Austausch. Auch an dieser Stelle sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen (vgl. hierzu (15)), daß eine mit einer Elektronenumgruppierung verknüpfte Änderung eines molekularen Zustandes 1 in einen Zustand 2 grundsätzlich nur dann eintreten kann, wenn die sterische Anordnung der im Vergleich zu den Elektronen schwer beweglichen Atomkerne zum mindesten vorübergehend so beschaffen ist, daß sie mit beiden Zuständen vereinbar ist. Es handelt sich hier um ein zuerst auf dem Gebiete der Bandenspektroskopie von Franck und Condon ausgesprochenes und in jeder Hinsicht bewährtes Prinzip, das dann später von

[2]) Noch günstiger würde sich die Transportmöglichkeit gestalten, wenn man die beiden Städte durch einen Tunnel miteinander verbände. In der Tat existiert auch in der Atomphysik ein solcher Tunneleffekt, doch spielt dieser, soweit es sich bisher feststellen ließ (5), nur in der Kernphysik, nicht aber in der Molekularphysik einschließlich der Reaktionskinetik eine ins Gewicht fallende Rolle.

F. O. Rice und E. Teller auf reaktionskinetische Probleme übertragen wurde. Bei der Isomerisierung würde die Annahme eines Überspringens eines H-Atoms von einem C-Atom zu einem anderen mit diesem Prinzip nicht vereinbar sein, während es bei dem geschilderten Austauschmechanismus in vollem Umfange erfüllt ist.

2. Experimentelle Hilfsmittel zur Untersuchung kontaktkatalytischer Reaktionen.

Vorangestellt werden möge ein kurzer Überblick über die zur Untersuchung kontaktkatalytischer Gasreaktionen zur Verfügung stehenden experimentellen Methoden.

Ebenso wie bei sonstigen, z. B. in einer homogenen Phase ablaufenden Reaktionen wird man zunächst eine *Messung der Bruttoreaktionsgeschwindigkeit* vornehmen, indem man die zeitliche Veränderlichkeit des chemischen Umsatzes und deren Abhängigkeit von den Konzentrationen der Reaktionsteilnehmer ermittelt. Wichtig ist hierbei zur Ausschaltung von Diffusionseffekten das *Arbeiten bei kleinen Drucken*, worauf Langmuir zuerst hinwies.

Im Druckgebiet von 10 Torr verwendet man zweckmäßig eine Kreislaufapparatur nach Dohse (8), bei der ein größeres Gasvolumen dauernd über den Kontakt hinweggepumpt wird. Bei kleineren Drucken kann man rein statisch arbeiten. Die analytischen Methoden zur Verfolgung der jeweiligen Zusammensetzung der Gasmischung sind von Fall zu Fall sehr verschiedenartig. Zuweilen kommt man mit einer Messung des Gesamtdruckes aus; evtl. läßt man vor der Druckmessung (nach Entnahme einer Probe des Reaktionsgemisches) die leicht kondensierbaren Komponenten ausfrieren. In manchen Fällen hat sich die Messung der Wärmeleitfähigkeit mittels eines Hitzdrahtmanometers gut bewährt (9). Als zweckmäßig zur Gewinnung übersichtlicher Ergebnisse erwies sich mitunter auch eine Konstanthaltung des Partialdrucks der schwerstflüchtigen Komponente durch eine Verwendung eines entsprechenden Kältebades, wobei man bis zu Partialdrucken von 10^{-4} bis 10^{-3} Torr herabgehen kann (9). Durchweg sind die Messungen der Bruttoreaktionsgeschwindigkeit bei mindestens 2 verschiedenen Temperaturen auszuführen, da sich aus deren Temperaturabhängigkeit unmittelbar die wichtige, bereits erwähnte *Aktivierungsenergie* ergibt.

Will man zu Absolutwerten der Reaktionsgeschwindigkeit (Umsatz pro Zeiteinheit und Oberflächeneinheit des Kontaktes) gelangen, was stets angestrebt werden sollte, so muß man in jedem Falle die effektive *Gesamtoberfläche* des benutzten Kontaktes bestimmen. Dies ist auch bei feinkörnigen Präparaten möglich durch Aufnahme einer vollständigen Adsorptionsisotherme eines indifferenten Gases (Ar, N_2 evtl. CO_2) bei tiefer Temperatur, woraus sich zunächst die Molzahl bei monomolekularer Bedeckung und hieraus, bei als bekannt angesehener Dichte derselben, die Oberfläche ergibt.

Soweit es möglich ist, wird man weiterhin versuchen Näheres über die einzelnen Teilreaktionen, aus denen sich der Bruttoumsatz zusammensetzt, zu erfahren. Entsprechend den Ausführungen S. 49 besteht wohl stets *eine Teilreaktion* in einer *chemischen Adsorption* oder Desorption eines Ausgangs- oder Endproduktes, deren selbständige Untersuchung in bezug auf Adsorptionsgleichgewicht, Wärmetönung und Geschwindigkeit häufig, aber wegen des Auftretens von Irreversibilitäten leider nicht immer möglich ist. Doch kann man auch, was sehr aufschlußreich ist, versuchen, die Reaktion am Kontakt selbst zu verfolgen, wozu natürlich eine relativ große Kontaktmenge gegenüber einem kleinen Gasvolumen erforderlich ist. Am einfachsten gelingt die Durchführung dieser Aufgabe bei Zerfallsreaktionen, bei denen aus einem stark adsorbierbaren Ausgangsstoff einigermaßen leicht desorbierbare Endprodukte entstehen (8). In ähnlicher Weise kann man bei bimolekularen Bildungsreaktionen den Kontakt mit einem der Ausgangsstoffe durch Adsorption vorbelegen und dann nachträglich den zweiten Ausgangsstoff gasförmig in kleiner Menge hinzugeben.

Eine wesentliche Klärung einer Kontaktkatalyse wie auch sonstiger chemischer Reaktionen gelingt ferner, wenn es sich als möglich erweist, den Reaktionsweg einer bestimmten Atomart durch *Verwendung eines Isotops* festzulegen. Ein konkretes Beispiel für die Anwendung dieses Verfahrens wird S. 52 gebracht werden.

Sehr aufschlußreich sind auch oft Versuche, bei denen der Kontakt *mit einem adsorbierbaren Fremdgas*, evtl. mit einem der entstehenden Endprodukte, *vorbelegt* wird. Es kann dann entweder eine Vergiftung eintreten infolge einer „Blockierung" gewisser reaktionsfähiger Zentren; zuweilen gelangt man aber auch zu einer Reaktionsbeschleunigung, wenn der betreffende Stoff die für den Umsatz am Kontakt erforderlichen Kettenträger vermehrt (wie vor allem bei Austauschkatalysen).

Für ein vollständiges oder wenigstens modellmäßiges Verständnis einer Kontaktkatalyse müßte offenbar die *Struktur der Kontaktoberfläche* genau bekannt sein. Die Lösung gerade dieser Aufgabe bringt aber leider ganz ungewöhnliche Schwierigkeiten mit sich. Denn durch Röntgenstrahl- und Elektronen-Beugungsaufnahmen kann man zwar die Struktur im Inneren der Kontaktkörper ermitteln, nicht aber die der obersten Schichten. Ungelöst ist auch vorläufig noch die Frage, wie sich verschiedene Kristallflächen ein und desselben Stoffes kontaktkatalytisch verhalten, da, soweit bekannt, an bestimmten makroskopischen Kristallflächen noch keine erfolgreichen kontaktkatalytischen Versuche durchgeführt werden konnten[3]). Vielleicht hilft hier das Elektronenmikroskop weiter, welches wenigstens die jeweilige Kristalltracht feinster Pulver noch zu erkennen gestattet. Es bliebe dann noch die freilich recht schwierige Aufgabe, mehrere Pulverkontakte verschiedener Kristalltracht, aber sonst (in bezug auf ihre chemische Zusammensetzung und die Anwesenheit von Verunreinigungen) völlig gleichartiger Beschaffenheit herzustellen und diese in bezug auf ihr kontaktkatalytisches Verhalten zu untersuchen.

Es möge noch kurz erwähnt werden, daß eine in der Regel recht *schlechte Reproduzierbarkeit der Einzelversuche* eine der größten Schwierigkeiten bei exakten kontaktkatalytischen Versuchen darstellt. Diese Feststellung mag dem technischen Chemiker verwunderlich erscheinen, da, wie erwähnt, in der Industrie zahlreiche auf kontaktkatalytischen Umsetzungen beruhende Verfahren in Gebrauch sind, deren Kontakte recht widerstandsfähig sind und meist erst nach Monaten soweit nachlassen, daß ihre Auswechselung nötig wird. Bei diesem Sachverhalt ist aber nicht zu übersehen, daß es sich hier in der Regel (natürlicher Bauxit bildet eine der wenigen Ausnahmen) um Kontakte handelt, die durch lang dauernde mühevolle Serienversuche auf ihre Beständigkeit hin erst „gezüchtet" worden sind, was meist durch geeignete Zusätze erreicht wird. Bei einer Untersuchung, welche die Aufklärung einer bestimmten einfachen Kontaktreaktion zum Ziel hat, liegen die Verhältnisse aber ganz anders; hier kommt es darauf an, unter möglichst klaren Bedingungen, vor allem mit möglichst reinen Stoffen zu arbeiten; diese sind aber insbesondere in bezug auf ihre Oberflächeneigenschaften meist recht labil, so daß geringste Änderungen der physikalisch-chemischen Beschaffenheit oder minimale Verunreinigungen oft erheblichen Einfluß auf ihre kontaktkatalytische Aktivität ausüben.

Sämtliche voranstehend (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) aufgezählten experimentellen Einzelmethoden sind nicht neu, sondern bereits häufig benutzt worden. Indessen gewinnt es den Anschein, als ob sie vielfach noch nicht voll ausgeschöpft seien; vor allem vermißt man fast stets eine systematische Anwendung *sämtlicher* in Frage kommenden Hilfsmittel auf bestimmte, verhältnismäßig eng begrenzte Probleme[4]). Durch eine derartige Konzentrierung besteht daher immer noch eine aussichtsvolle Möglichkeit, zu einer intimeren Kenntnis der einer unmittelbaren Wahrnehmung sich fast völlig entziehenden Vorgänge an einer Kontaktoberfläche zu gelangen.

Im folgenden wird über einige derartige in sich zwar begrenzte, aber für das Gesamtgebiet typische kontaktkatalytische Probleme etwas eingehender berichtet werden, bei denen sich das geschilderte Arbeitsprinzip im ganzen, wie wir hoffen, als erfolgreich erwiesen hat.

3. Die Dehydratisierung und Dehydrierung von Alkoholen an Metalloxyden.

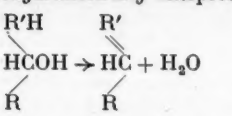
a) Gesichtspunkte allgemeinerer Art.

An Metalloxyden als Kontakten pflegen Alkohole bei erhöhter Temperatur zu zerfallen, und zwar ent-

[3]) Immerhin konnten Beeck, Smith u. Wheeler (10) durch Hydrierungsversuche, bei denen nach verschiedenen Methoden hergestellte Ni-*Aufdampfschichten* als Kontrollmaterial benutzt wurden, wahrscheinlich machen, daß die (110) Fläche des Ni kontaktkatalytisch wirksamer ist als die übrigen Flächen.

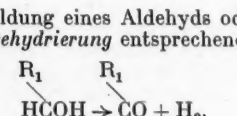
[4]) Beispielsweise ist die Zahl der bisherigen kontaktkatalytischen Arbeiten noch verhältnismäßig gering, bei denen die effektive Gesamtoberfläche des Kontaktes bestimmt wurde; sehr oft fehlen auch Versuche zur Ermittlung der chemischen Adsorption der Reaktionspartner am Kontakt.

weder unter Bildung eines ungesättigten K. W. im Sinne einer *Dehydratisierung* entsprechend



$$\begin{matrix} R'H & & R' \\ \diagdown & & \diagdown\!\!\diagdown \\ HCOH & \rightarrow & HC \\ \diagup & & \diagup \\ R & & R \end{matrix} + H_2O \qquad (I)$$

oder unter Bildung eines Aldehyds oder Ketons im Sinne einer *Dehydrierung* entsprechend



$$\begin{matrix} R_1 & & R_1 \\ \diagdown & & \diagdown \\ HCOH & \rightarrow & CO \\ \diagup & & \diagup \\ R_2 & & R_2 \end{matrix} + H_2. \qquad (II)$$

Beide Reaktionen sind thermodynamisch nahezu gleichwertig; sie verlaufen zwar im Gasraum von links nach rechts mit 13 bzw. 16 kcal endotherm; infolge der gleichzeitig erfolgenden Entropiezunahme liegt aber das Gleichgewicht im Gebiet niedriger Drucke ($p \simeq 0{,}1$ Atm) bei der Dehydratation oberhalb 50° C, bei der Dehydrierung oberhalb 200° C praktisch völlig auf der Seite der Spaltprodukte[5]).

Die Frage, in welchem Umfange die einzelnen Oxyde dehydrieren bzw. dehydratisieren, wurde selbstverständlich bereits von zahlreichen Autoren, insbesondere Sabatier (11), untersucht. Die insgesamt vorliegenden Ergebnisse sind allerdings ziemlich heterogen und nur in groben Umrissen miteinander vergleichbar. Sieht man das Verhältnis $\eta = \frac{(\text{Kationenradius})^3}{\text{Molvolumen pro Kation} \times \text{Wertigkeit}}$ als charakteristische Kenngröße an, so gelangt man zu dem auf Fig. 2 wiedergegebenen Bilde, dem man entnimmt,

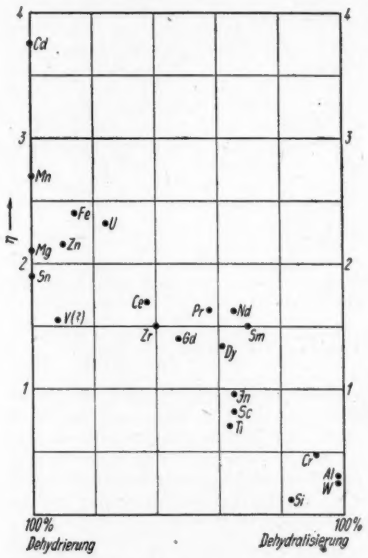


Fig. 2. Verhältnis der Dehydrierung zur Dehydratisierung des Isopropylalkohols bei verschiedenen oxydischen Kontakten[5a]).

daß die Dehydrierung durch einen verhältnismäßig großen Volumenanteil des Kations innerhalb des Gesamtvolumens begünstigt wird, während die Dehydratisierung bei kleinen Kationen, also bei einem starken Überwiegen des Volumenanteils der O-Ionen, in den Vordergrund tritt. Freilich kommt bei dieser Darstellung der sicher recht erhebliche Einfluß des Kristallsystems[6]) nicht zum Ausdruck[7]).

Charakteristisch für die Oxyde mit kleinen Metallionen hoher Wertigkeit ist der Umstand, daß sich diese möglichst von allen Seiten mit Anionen zu umgeben bestrebt sind; in solchen Fällen wird daher die Kristalloberfläche vorwiegend aus O-Ionen bestehen. Erst bei größeren Radien der Metallionen und geringerer Wertigkeit wird man letztere in größerer Zahl in der Oberfläche vorfinden. Die hieraus zu ziehende Konsequenz ist offenbar, daß bei den stark dehydratisierenden Oxyden die Sauerstoffatome irgendwie, direkt oder indirekt, an der Katalyse beteiligt sein müssen. Dementsprechend wird man den Metallionen die Hauptrolle bei der Dehydrierung zuzuschreiben haben. Freilich ist mit dieser allgemeinen, wohl zuerst von Bancroft (12) ausgesprochenen, dann von Taylor (13) übernommenen Auffassung noch nicht allzu viel gewonnen; vielmehr bedarf diese, um zu einem befriedigenden Endergebnis zu gelangen, noch einer konkreteren Ausgestaltung.

Bevor indessen über einige dieses Ziel verfolgende Versuche berichtet wird, möge noch auf folgenden allgemeineren Gesichtspunkt hingewiesen werden: Bei einem aus mehrwertigen Ionen aufgebauten Kristall ist das elektrische Feld an der Oberfläche naturgemäß recht groß. Infolge von Polarisationseffekten wird es zwar herabgesetzt, ist aber wahrscheinlich in den meisten Fällen immer noch größer als bei Kristallen, die nur aus einwertigen Ionen bestehen. Es ist einleuchtend, daß die genannten starken Oberflächenfelder eine Anziehung auf andere Ionen ausüben, und zwar wird es sich hierbei hauptsächlich um eine *Anlagerung von Ionen geringerer Wertigkeit* handeln, da ja durch die Anlagerung von Ionen gleicher Wertigkeit die Verhältnisse prinzipiell nicht geändert würden. Insgesamt wird ein aus Ionen aufgebauter Kristall daher das Bestreben haben, sich mit Ionen bzw. Molekeln zu bedecken, durch die ursprünglich vorhandene starke Felder herabgesetzt werden und durch die der schroffe Übergang von Gebieten hoher Felder zu dem Felde null in einiger Entfernung von der Oberfläche ausgeglichen oder wenigstens gemildert wird. Diese Auffassung macht es verständlich, warum — in Übereinstimmung mit zahlreichen experimentellen Erfahrungen — die Oberfläche vieler Metalloxyde mit großer Festigkeit H-Atome bzw. Protonen an sich bindet, so daß diese nur sehr schwer, z. B. durch Erhitzen im Vakuum auf hohe Temperatur und dann auch meist nur unter Mitnahme von O-Atomen, also in Gestalt von H_2O-Molekeln, wieder entfernt werden können. Gerade diese Atome spielen nun, wie im folgenden zu zeigen sein wird, insbesondere für die Dehydratisierung an Metalloxyden eine entscheidende Rolle.

b) Die Dehydratisierung.

Wir fassen zunächst solche Kontakte ins Auge, welche, wie z. B. γ-Al_2O_3, überwiegend dehydratisieren. Im Anschluß an die vorangehenden Ausführungen darf angenommen werden, daß hier irgendwelche an O-Atome gebundene H-Atome bzw. Protonen die Rolle der primären Kettenträger spielen, während der durch eine Vereinigung je eines dieser

[5]) Näheres in einer bisher unveröffentlichten Diplomarbeit E. Krückes. Die abgekürzten Gleichgewichtsformeln lauten speziell für Isopropylalkohol

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Dehydratation:} & 4{,}573 \log K_p = -\frac{13000}{T} + 36{,}87 \\ \text{Dehydrierung:} & 4{,}573 \log K_p = -\frac{16150}{T} + 31{,}83 \end{array}\right\} \text{mit}$$

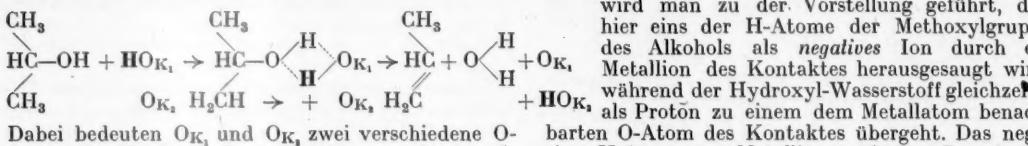
$$K_p = \frac{p_{H_2O} \cdot p_{C_3H_6}}{p_{C_3H_8O}} \quad \text{usw.}$$

[5a]) *Anmerkung bei der Korrektur:* Der in der Figur bereits mit einem Fragezeichen versehene, von Sabatier herrührende Wert für V_2O_5 konnte durch kürzlich von Herrn Heuer angestellte Versuche *nicht* bestätigt werden. Der richtige Wert für dieses Oxyd liegt rechts unten auf der Figur, etwa zwischen den für Cr_2O_3 und SiO_2 angegebenen Punkten.

[6]) Beispielsweise übt kubisches α—Al_2O_3 (Korund) überhaupt keine, γ—Al_2O_3 eine recht beträchtliche katalytische Wirkung aus.

[7]) Vgl. hierzu auch Fußnote 9 S. 53.

Atome mit einer Alkoholmolekel entstehende Komplex den 2. Kettenträger bildet. Man gelangt auf diese Weise zu folgendem Reaktionsmechanismus (speziell für Isopropylalkohol) (14):



Dabei bedeuten O_{K_1} und O_{K_2} zwei verschiedene O-Atome des Kontakts. Da es sich hier um einen typischen Fall einer *Austauschkatalyse* handelt, bestand zur Sicherung dieses an sich einfachen und naheliegenden Reaktionsmechanismus vor allem die Aufgabe, den Nachweis zu erbringen, daß eins der H-Atome des entstehenden Wassers tatsächlich von dem Kontakt herrührt.

Besonders überzeugend sind einige von H. J. Leugering (19) ausgeführte Versuche, bei denen ein zunächst weitgehend entgaster γ-Al_2O_3-Kontakt durch Behandlung mit D_2O bei sehr kleinem Druck mit einer mäßigen Menge von D-Atomen belegt war, während für die Zerfallsversuche gewöhnlicher Isopropylalkohol benutzt wurde. Offenbar sollte dann das zuerst gebildete Wasser nicht aus H_2O, sondern aus HDO bestehen. Allerdings muß bei diesen Versuchen berücksichtigt werden, daß zwischen den D-Atomen des Kontaktes und dem gebildeten Wasser ein sekundärer Austausch von D- gegen H-Atome stattfinden wird. Selbst wenn entgegen unseren Annahmen aus dem Alkohol primär H_2O statt HDO entstanden wäre, müßte also das vom Kontakt absorbierte Wasser D-haltig sein. Die Unsicherheit wurde beseitigt durch Parallelversuche, bei denen der D-haltige Kontakt nicht mit Alkohol, sondern mit H_2O behandelt wurde. Wie die nachstehende Tabelle zeigt, ist das desorbierte Wasser tatsächlich stets D-haltig; der D-Gehalt ist aber wesentlich größer bei den Alkoholzerfallsversuchen, was nur so gedeutet werden kann, daß hier das an dem Kontakt neu gebildete Wasser nicht aus H_2O, sondern HDO bestand.

Tabelle 1.

Vorbelegung mit D_2O ccm/g	Umsetzungspartner adsorbiert in cm/g	Wasserdampf desorbiert ccm/g	Deuteriumgehalt des desorbierten Wassers % D
0,53	i–C_3H_7OH : 0,30	0,097	78
0,58	H_2O : 0,10	0,050	49
0,66	i–C_3H_7OH : 0,27	0,097	76
0,75	H_2O : 0,081	0,037	46
0,51	$H_2O + D_2O$(50%) : 0,074	0,032	66

Erwähnt sei noch, daß die eigentlich aktiven Stellen des γ-Al_2O_3-Kontaktes, an denen der Alkohol chemisch adsorbiert wird, und an denen sich dann sein Zerfall vollzieht, nur etwa 10% der gesamten Oberfläche ausmachen. Der Ursprung dieser aktiven Stellen rührt höchstwahrscheinlich daher (18), daß dem γ-Al_2O_3 das Gitter des Spinells ($MgAl_2O_4$) zukommt, in dem 66% der Plätze der Mg-Ionen durch Al-Ionen besetzt sind, während 33% der Mg-Gitterplätze frei bleiben[8]). Diese natürlichen Fehlstellen des Gitters ziehen an der Oberfläche infolge des dort vorhandenen Defektes an positiver Ladung H-Atome besonders stark an, wodurch weiterhin die Anlagerung von H_2O- bzw. Alkohol-Molekeln erleichtert wird. Wegen sonstiger Einzelheiten über den Mechanismus der Alkoholdehydratisierung an γ-Al_2O_3 sei auf einige bereits veröffentlichte Arbeiten verwiesen (15, 16, 17).

[8]) Bezieht man diese Zahl auf die Gesamtzahl der für die Kationen in Frage kommenden Gitterplätze, so erhält man etwa 11%.

c) Die Dehydrierung.

Wenn, wie oben angenommen, für die Dehydrierung hauptsächlich relativ große, in der Kontaktoberfläche liegende Metallionen maßgebend sind, wird man zu der Vorstellung geführt, daß hier eins der H-Atome der Methoxylgruppe des Alkohols als *negatives* Ion durch ein Metallion des Kontaktes herausgesaugt wird, während der Hydroxyl-Wasserstoff gleichzeitig als Proton zu einem dem Metallatom benachbarten O-Atom des Kontaktes übergeht. Das negative H-Atom am Metallion und das Proton am O-Ion vereinigen sich dann unmittelbar anschließend zu H_2, welcher leicht desorbiert wird, da dessen Adsorbierbarkeit an den hier in Frage kommenden Zentren gering ist. Unter Zugrundelegung der für das Wurtzitgitter des ZnO geltenden Daten sind die einzelnen Phasen der Dehydrierung des Aethylalkohols auf den Figuren 3a bis 3d veranschaulicht; bemerkenswert ist der Umstand, daß in diesem Falle keine Belegung der O-Atome mit H-Atomen nötig ist; hier handelt es sich also nicht um eine Austauschkatalyse.

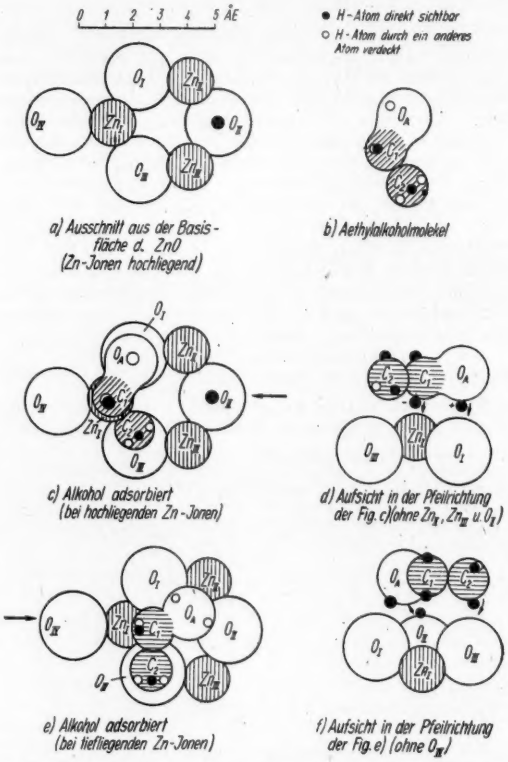


Fig. 3. Modellmäßige Darstellung der katalytischen Dehydrierung bzw. Dehydratisierung von Äthylalkohol an Zinkoxyd.

Auch die Frage, unter welchen Bedingungen zweiwertige Oxyde vom Typ des ZnO zu dehydratisieren vermögen, läßt sich nach den obigen Ausführungen leicht beantworten. Gerade bei diesem Gitter sind in der Basisfläche zwei Anordnungen der Atome möglich: entweder die Zn-Atome liegen mit ihren Schwerpunkten oberhalb denen der O-Atome (Fig. 3a, c, d) oder die gegenseitige Lage ist umgekehrt (Fig. 3e, f). Es ist deutlich erkennbar, daß im letzteren Falle die H-Atome der Methoxylgruppe keinen Kontakt mehr mit den Zn-Ionen gewinnen können; gleichzeitig ist

deren elektrostatische Einwirkung auf die in der Oberfläche befindlichen Teile der O-Atome wesentlich herabgesetzt, so daß dort adsorbierte H-Atome einen gewissen Spielraum für eine Bewegung besitzen. Insgesamt kommt man auf diese Weise auf den normalen, im vorangehenden Abschnitt b) behandelten Dehydratisierungsmechanismus zurück. Da die Wahrscheinlichkeit hoch- und tiefliegender Zn-Ionen in der Basisfläche gleich groß ist, besteht die nächstliegende Erwartung in dem Auftreten einer 50%igen Dehydrierung und Dehydratisierung. Indessen ist hierbei zu berücksichtigen, daß die tatsächliche Geschwindigkeit einer Reaktion keineswegs allein von der Häufigkeit der für sie aktiven Bezirke, sondern verhältnismäßig stark auch von der Aktivierungsenergie und dem Stoßausbeutefaktor abhängt; eine Verschiebung der Reaktionsausbeute einer der Reaktionen von 50 auf etwa 90%, wie man sie beim ZnO findet, kann daher in keiner Weise als verwunderlich angesehen werden[9]).

[9]) Anders liegen die Verhältnisse bei kubischen Gittern vom NaCl-Typ; hier befinden sich in der Würfelfläche die Kationenschwerpunkte stets in gleicher Höhe wie die Anionenschwerpunkte; d. h. es existieren keine tiefliegenden Kationen, welche eine Dehydrierung ausschließen und eine Dehydratisierung begünstigen. In der Tat bilden sämtliche in Fig. 2 angeführten reinen Dehydrierungskontakte (CdO, MnO, MgO) ein Kristallgitter vom NaCl-Typ; nur SnO bildet eine Ausnahme.

Literatur.

(1) Schwab, G. M., Handb. d. Katalyse, Wien, Springer-Verlag 1940—43 (vergl. hierzu die Besprechungen in dieser Zeitschrift **30**, 282, **33**, 349). — (2) Arbeiten v. Roginsky S., Schechter A. u. a. in den Acta Physico-Chemica URSS 1934—39. — (3) Schumacher, H. J., J. Amer. Chem. Soc. **52**, 3132 (1930). (vergl. auch Arnold, L. B. u. Kistiakowsky, H. B., J. Chem. Phys. **1**, 166 1933). — (4) Näheres bei Eucken A. Grundr. d. phys. Chem. 6. Aufl. S. 401 ff; Lehrb. der chem. Phys. 2. Aufl. Bd. II, S. 471 ff sowie 1434 ff. — (5) Vergl. hierzu Eucken A. u. Hunsmann, W., Z. Phys. Chem. B **44**, 166 (1939). — (6) Näheres Grundr. phys. Chem. 6. Aufl., S. 420 ff. — (7) Einer der ersten, der sich experimentell mit Austauschkatalysen beschäftigte (Umwandlung Buten I in Buten II), war Twigg, G. H., Proc. Roy. Soc. A **176**, 106 (1941). — (8) Dohse, H. u. Kälberer, W., Z. Phys. Chem. B **5**, 131 (1929). — (9) Grotjahn, Dissertation, Göttingen 1949. — (10) Beeck, O., Smith, A.E. u. Wheeler, A., Proc. Roy. Soc. **177**, 64 (1940). - Beeck, O., Rev. of modern Phys. **17**, 61 (1945). — (11) Sabatier, P., Die Katalyse in der organischen Chemie, Leipzig 1927. — (12) Bancroft. J. phys. Chem. **21**, 591 (1917). — (13) Taylor, H. S., Z. f. Elektrochem. **33**, 542 (1929). — (14 Eucken, A. u. Wicke, E., Naturw. **32**, 161 (1944). — (15) Eucken, A., Forschung u. Fortschr. **21/23**, 79 (1947). — (16) Eucken, A. u. Wicke, E., Z. f. Naturforschg. 2a ,163 (1947). — (17) Wicke, E., Z. Elektrochem. **52**, 86 (1948); **53** (1949), erscheint demnächst. — (18) Eucken, A., Naturw. **34**, 374 (1947). — (19) Leugering, H. J., Dissertation Göttingen 1948. (vergl. auch (16)).

(Schluß folgt.)

Eingegangen am 18. Dezember 1948.

Berichte.

Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des pflanzlichen Wachstums.

Von Hans v. Witsch.

In zwei Richtungen haben die letzten Jahre eine Reihe wesentlicher Fortschritte unserer Kenntnis von Wachstumsvorgängen bei Pflanzen gebracht. Einmal wurden tiefere Einblicke in den Ablauf der Biosynthesen wichtiger körpereigener Substanzen gewonnen. Vorkommen, Anreicherung und Verminderung verschiedener Wirkstoffe des Plasmawachstums im Laufe der Entwicklung und unter verschiedenen Außenbedingungen wurden in mehreren Fällen eingehend untersucht. Andererseits sind auch auf dem Gebiete der Wuchsstoffe (Auxine, Zellstreckungshormone) und Hemmstoffe wichtige Arbeiten zu verzeichnen.

Einblicke in das Plasmawachstum und den Aufbau wesentlicher Zellbausteine lassen sich auf mehreren Wegen erhalten. Neben der Einführung radioaktiver Isotope gewinnt in steigendem Maße die Untersuchung heterotropher Mutanten von Mikroorganismen an Bedeutung. Durch Röntgen- oder Ultraviolettbestrahlung wurden in vielen Fällen zahlreiche Mutanten erhalten, bei welchen durch Veränderung eines Genes die Synthese lebenswichtiger Substanzen an einer bestimmten Stelle unterbrochen ist. Diese Mutanten verlangen daher im Gegensatz zur Wildform dementsprechende organische Zusätze zur Nährlösung, um wachsen zu können. Sie sind in Bezug auf die betreffende Substanz heterotroph geworden. Da verschiedene Mutanten die Synthesehemmung an verschiedenen Stellen aufweisen können, läßt sich in günstigen Fällen die interessierende Biosynthese stufenweise verfolgen. Ein besonderer Vorzug dieser Methode liegt noch darin, daß durch die Unterbrechung des Synthesevorganges einzelne Zwischenprodukte angehäuft werden. Sie können daher extrahiert und chemisch sowie physiologisch näher untersucht werden. In dieser Beziehung ist diese Methode der Verwendung radioaktiver Isotope überlegen.

Aus der Fülle der einschlägigen Arbeiten können hier nur wenige genannt werden. Eines der günstigsten Objekte ist der Ascomycet *Neurospora crassa*, bei welchem durch Conidienbestrahlung zahlreiche heterotrophe Mutanten erzielt wurden (Bonner[1]). Unter etwa 85 000 näher geprüften Einsporkulturen wurden gegen 600 heterotrophe Mutanten gefunden. Die Heterotrophie bezog sich auf verschiedene Wirkstoffe (Vitamin B_1, B_6, Nikotinsäure, p-Amino-Benzoesäure), auf Nukleinsäure, Aminosäuren wie Arginin, Cystin, Histidin, Leucin, Isoleucin, Tryptophan u. a.)). Es ließ sich zeigen, daß z. B. die Biosynthese von Cholin über die Stufen Aminoäthanol, Monomethyl-Aminoäthanol, Dimethyl-Aminoäthanol führen dürfte. Die Nukleinsäuresynthese konnte in drei Stufen zerlegt werden, als Zwischenprodukte wurden heterocyklische Monokarbonsäuren, wahrscheinlich Oxy-Pyridinkörper erkannt. Die biologische Argininsynthese konnte in sieben Stufen zerlegt werden, als Zwischenprodukte werden Citrulin, Ornithin, Prolin und Glutaminsäure genannt. Ähnliche Befunde an *Penicillium notatum* beweisen, daß die genannten Biosynthesen keine auf *Neurospora* beschränkten Spezialfälle darstellen. In vielen Fällen ließ sich auch beweisen, daß für die einzelnen Syntheseschritte bestimmte Gene verantwortlich zu machen sind, deren Wirkung in der direkten oder indirekten Beeinflussung der Bildung spezifischer Enzyme zu sehen ist. Über ganz ähnliche Ergebnisse berichtet auch Horowitz[2]). Er untersuchte vier Methionin-heterotrophe Mutanten und konnte nachweisen, daß der Aufbau dieses wichtigen Körpers durch genkontrollierte Zwischensynthesen über Cystein, Cystathionin und Homocystein führt. Die Vorstufe des Homocysteins wurde angereichert, isoliert und mit großer Sicherheit als Cystathionin erkannt.

Neben *Neurospora* spielt *Escherichia (Bacterium) coli* für derartige Untersuchungen eine große Rolle. Auch mit diesem Organismus konnte u. a. die Biosynthese schwefelhaltiger Eiweißkörper aufgehellt werden. Es ist von besonderem Interesse, daß nach diesen Ergebnissen die Methioninsynthese über dieselben Zwischenprodukte führt (Lampen, Roepke, Jones[3]), die schon bei *Neurospora* festgestellt wurden.

Eine Reihe von Arbeiten ist dem Einfluß verschiedener Wirkstoffe auf das Plasmawachstum gewidmet. Hierbei sind vor allem Untersuchungen über die Physiologie des Aneurins (Vitamin B_1) zu nennen. Nachdem einzelne Beobachtungen über Zu- und Abnahme des Aneurins im Laufe der Keimung und Entwicklung schon aus früheren Jahren vorlagen, untersuchte Rytz[4]) eingehender den Aneurinstoffwechsel der Erbse. Er fand ein Abwandern des Aneurins aus den Keimblättern in den Keimling, dessen Vitamin B_1-Gehalt anfänglich stark ansteigt und dann, nach Durchlaufen eines Maximums auf einen niedrigeren,

ziemlich konstanten Wert absinkt. Sproßspitzen, junge Blätter, Blütenknospen und Fruchtknoten waren Orte besonders hohen Vitamin-B_1-Gehalts. Einige Jahre später veröffentlichte Hurni[3]) eingehende Untersuchungen über den Aneurinhaushalt von *Melandrium*. Er fand eine Abnahme im Samen in den ersten Keimungsstadien und einen Wiederanstieg bei einsetzendem Wachstum und schloß auf engen Zusammenhang zwischen Wachstum und Aneurinsynthese. Ebenso waren in den älteren Pflanzen stets die Stellen intensiven Wachstums (junge Blätter, Knospen, Rosettenpflanzen zu Beginn des Schossens) wesentlich reicher an Aneurin als ausgewachsene Teile. Die Tragblätter von in Entwicklung befindlichen Seitensprossen wiesen z. B. wesentlich höheren Aneuringehalt auf als andere Blätter gleichen Alters.

Daß abgesehen von stets vorhandenen individuellen Schwankungen auch der Standort der Pflanzen bzw. die Anzuchtbedingungen großen Einfluß auf den Aneuringehalt haben können, zeigten Versuche mit Kulturen in Erde bzw. Sand und mit verschiedener Düngung. Sandkulturen ergaben bis über 50% geringeren Vitamin-B_1-Gehalt der betreffenden Pflanzen. Stickstoffdüngung bedingte starken, der Stickstoffkonzentration proportionalen Anstieg der Aneurinwerte. Auch Kali- oder Volldüngung wirkte sich günstig aus, während Phosphorgaben allein den Aneuringehalt eindeutig herabsetzten. Diese Resultate sind vor allem wichtig für die Frage nach dem Einfluß von Bodenbeschaffenheit und Düngung auf den Vitamingehalt unserer Kulturpflanzen, da hierüber bisher ganz widersprechende Angaben vorlagen.

Eine Ergänzung und Erweiterung dieser an höheren Pflanzen gewonnenen Ergebnisse brachten Untersuchungen über die Abhängigkeit des Aneuringehaltes von Grünalgen unter verschiedenen Wachstumsbedingungen und in verschiedenem physiologischen Zustand (v. Witsch[8]). Unabhängig von speziellen Differenzierungsprozessen und Korrelationen zwischen verschiedenen Teilen, die bei höheren Pflanzen die Auswertung der Beobachtung erschweren, konnte hier an *Chlorella*-Kulturen die Beeinflussung des Aneurinspiegels durch Außenfaktoren sowie durch das Alter und den „physiologischen Zustand" der Algenzellen verfolgt werden. In der Entwicklung einer Algenkultur, die unter für die Produktion großer Zellmassen günstigen Bedingungen herangezogen wird, lassen sich zwei Abschnitte unterscheiden. Zuerst erfolgt intensives Zell*teilungs*wachstum, welches später durch eine Phase starker Stoffspeicherung in den gebildeten Zellen abgelöst wird (v. Witsch[7]). Auch bei *Chlorella* ist die Periode intensiver Zellneubildung mit hohen Vitaminwerten verbunden. In physiologisch alten, in der Speicherphase befindlichen Zellen sinkt der Vitamingehalt wesentlich ab, u. U. bis auf ¼ des Ausgangswertes. Auch hier wirkt hohe Stickstoffkonzentration Aneurin-vermehrend. Und zwar ergab sich, daß die höheren Vitamin-B_1-Werte stickstoffreicher Kulturen dadurch zustande kommen, daß das Zellteilungsstadium wesentlich länger, d. h. bis zur Erreichung einer bedeutend höheren Zelldichte anhält. Darüber hinaus ist aber auch der relative, auf das g Trockengewicht berechnete Aneuringehalt derartiger Kulturen erhöht. Ähnlich wirkt gesteigerte Gabe von Stickstoff, Kali und Phosphor, während sich eine Erhöhung der Phosphorkonzentration allein auch hier eher Aneurin-mindernd auswirkt.

Von Interesse ist eine Mitteilung von Schopfer und Boß[8]) über ein Antivitamin B_1 (Pyrithiamin). Es handelt sich hierbei um ein substituiertes Aneurin, bei welchem die 4-Methyl- und die 5-β-oxyäthyl-Gruppen durch 2-Methyl-3-β-oxyäthyl-Pyrimidin ersetzt sind. Die Antivitaminwirkung wurde sowohl bei *Phycomyces* wie bei *Ustilago violacea* erprobt. Durch sehr hohe Aneurinkonzentration kann die Wirkung ausgeschaltet werden. Bei *Ustilago violacea* war das Verhältnis Pyrithiamin: Aneurin, bei welchem das Wachstum auf 50% herabgesetzt wurde, innerhalb weiter Grenzen (5—1000 mγ Aneurin) annähernd gleich, im Mittel 216,38.

Neben dem Aneurin wurde auch die Bedeutung einer Reihe anderer Wirkstoffe für das Wachstum, vor allem bei Pilzen, untersucht. Aus der großen Zahl hierhergehöriger Arbeiten können wieder nur einige genannt werden. Hurni[9])[10]) fand, daß Hypoxanthin die Sporenkeimung und ersten Entwicklungsstadien junger Mycelkulturen von *Phycomyces* und zahlreichen anderen Mucorineen wesentlich fördert. Schopfer[11]) widmete eine ausführliche Studie dem Wirkstoffbedarf und der Synthesefähigkeit von *Rhizopus suinus*. Dieser Pilz, der schon einmal durch die Entdeckung seiner Synthesefähigkeit für Heteroauxin Bedeutung erlangte, ist für Biotin (Vitamin H) autotroph, ebenso wie z. B. *Phycomyces* (Schopfer u. Guilloud[12]). Auf Zusatz von Mesoinosit spricht *Rhizopus* hingegen stark an. Auch hier erwies sich Mesoinosit als ein Wirkstoff von großer Konstitutionsspezifität. Eingehendere Prüfung dieser Frage bei einer Mutante von *Neurospora crassa* (Schopfer, Posternak und Boß[13]) und bei *Eremothecium Ashbyii* (Schopfer, Posternak und Guilloud[14]) zeigte, daß die Wirksamkeit entsprechend einer früheren Vermutung bei allen Objekten an das Vorhandensein von drei benachbarten OH-Gruppen in cis-Stellung gebunden ist. Eigentümlich ist die Wirkung einer Aneurinzugabe bei *Rhizopus*. *Rhizopus* ist an sich Aneurin-autotroph. Wird dem Substrat zusätzlich Vitamin B_1 zugegeben, so bewirkt es zuerst eine Förderung des Wachstums. Diese schlägt jedoch nach den Kulturbedingungen früher oder später in eine starke Hemmung um, welche in erster Linie durch den Pyrimidinanteil des Aneurins verursacht wird und im Laufe der weiteren Entwicklung wieder schwindet. Die Hemmung läßt sich z. T. durch die Beobachtung erklären, daß *Rhizopus* unter dem Einfluß der überoptimalen Aneuringaben erhebliche Mengen von Alkohol produziert. Auch hierfür ist vor allem die Pyrimidinkomponente verantwortlich zu machen. Die wachstumsmindernde Wirkung des Aneurinzusatzes kann durch Beigabe von Mesoinosit je nach den Kulturbedingungen verringert oder sogar aufgehoben werden.

Einen weiteren Fall negativer Beeinflussung des Wachstums stellen die von v. Denffer[15]) untersuchten Hemmstoffe bei Diatomeen dar. Es handelt sich hierbei um thermostabile, schwer flüchtige Substanzen, welche von den Zellen selbst in die Nährlösung ausgeschieden werden und in älteren Kulturen Wachstumsstillstand bewirken. Sie beeinflussen vor allem die Zellteilung. Es ist typisch für Kulturen mit stark angereicherten Hemmstoffen, daß in ihnen zahlreiche, vor allem in den späteren Stadien „steckengebliebene" Zellteilungen vorhanden sind, während Assimilation und Reservestoffspeicherung keine Beeinträchtigung erkennen lassen.

Auch auf dem Gebiet der Zellstreckungshormone sind, wie schon erwähnt, wichtige Arbeiten zu verzeichnen. Größere zusammenfassende Übersichten über die in den letzten Kriegs- und Nachkriegsjahren erschienenen Arbeiten brachten Skoog[16]) und Overbeek[17]). Da es sich hierbei zum größten Teil um ausländische, schwer oder gar nicht zugängliche Arbeiten handelt, sei über einige wesentliche Punkte kurz berichtet. Für den Leser englischer oder amerikanischer Arbeiten ist wichtig zu wissen, daß dort allgemein unter Auxin jede im *Avena*- oder anderen Testen wirksame Substanz verstanden wird, also auch Stoffe wie β-Indolylessigsäure und andere Heteroauxine nach unserer Bezeichnung. Der Grund hierfür liegt darin, daß in immer zahlreicheren Fällen das Vorkommen von Heteroauxin in Pflanzen nachgewiesen werden konnte, z. B. in Maiskörnern, Maismehl, Spinatblättern u. a. Ein weiterer Anhaltspunkt ist auch das immer wieder nachgewiesene Vorhandensein von eiweißhaltigen Wuchsstoffvorstufen, von gebundenem Wuchsstoff bzw. von inaktiven Vorläufern (precursors), deren aktiver Bestandteil nach Freisetzung mit großer Wahrscheinlichkeit als β-Indolylessigsäure identifiziert werden konnte (Haagen-Smith 1946, Berger u. Avery 1944, Wildmann u. Bonner 1946, zitiert nach Skoog[16]). Die Darstellung von Auxinprotein und kristallisierter β-Indolylessigsäure aus Pflanzen und die Feststellung einer verzehnfachten Wuchsstoffaktivität eines Extraktes aus Spinatblättern, welcher 3½ Stunden nach Injektion

von Tryptophan in die Blätter gewonnen worden war (Wildmann, Ferri u. Bonner 1946, zitiert nach Skoog[16]), legten den Gedanken nahe, Tryptophanhaltiges Eiweiß als Hauptauxinvorstufe anzusprechen. Wildmann u. Bonner berichten z. B. in der oben angeführten Arbeit über die Extraktion eines homogenen Auxin-Proteinkomplexes aus Spinatblättern, Molekulargewicht 185 000, Absorbtionsmaximum 280 mμ, der 75 % des ganzen Zelleiweißes ausmachte. Er enthielt die gesamte potentielle Auxinaktivität des Plasmaproteins, wies Phosphataseaktivität auf, war aber inaktiv bezüglich aller anderen getesteten Enzymwirkungen. Behandlung mit heißem Alkali oder proteolytischen Fermenten ergab aktiven Wuchsstoff und zwar β-Indolylessigsäure.

Über die Isolierung von fünf verschiedenen Eiweißfraktionen mit potentieller Wuchsstoffaktivität aus Weizenkörnern berichtet Gordon (1946, zitiert nach Skoog[16]). Die vorher durch erschöpfende Ätherextraktion Auxin-frei gemachten Fraktionen erhielten durch Einwirkung von Trypsin oder alkalisches Autoklavieren wieder Wuchsstoffaktivität. Es wurden sowohl säurestabile alkalilabile Wuchsstoffe gewonnen wie auch alkalistabile säurelabile.

In all diesen Arbeiten wird zwischen der physiologischen Wirkung von Heteroauxinen und Auxin-a nicht unterschieden, sondern die Ansicht vertreten, daß mindestens ein erheblicher Teil der natürlichen Wuchsstoffwirkung in der Pflanze durch β-Indolylessigsäure verursacht sei. Eine dementsprechende wohlausgebaute, wenn auch noch betont hypothetische Vorstellung über die Wuchsstoffphysiologie der Pflanze entwickelten Bonner u. Wildmann[18]). In diesem Zusammenhang muß aber auf die eingehenden Untersuchungen von v. Guttenberg u. Mitarbeitern[19])[20]) hingewiesen werden, in welchen gewichtige Unterschiede in der Wirkung von Auxin-a und Heteroauxin (β-Indolylessigsäure) aufgezeigt werden. Die hier mitgeteilten Befunde sind eine weitere Stütze für die schon früher durch v. Guttenberg[21]) vertretene Auffassung, nach welcher zugeführtes Heteroauxin nur den natürlichen organeigenen Auxin-a-Vorrat aktiviert.

Mit der Aktivierung inaktiven Auxins befaßt sich auch eine Mitteilung von Ruge[22]). Er weist auf die engen Beziehungen zwischen Atmungsintensität und Wuchsstoffaktivität hin. Die Wirksamkeit von β-Indolylessigsäure wird in der Intensivierung des die Auxinaktivierung regelnden Atmungsprozesses gesehen.

Funke u. Söding[23]) entwickelten an Hand ihrer Versuche über das Wuchsstoff-Hemmstoffsystem der *Avenak*oleoptile und der Kartoffelknolle folgende Vorstellung: Der neben dem freien Auxin-a stets nachweisbare, nach allen Richtungen transportable inaktive Wuchsstoff, welcher z. B. in der Koleoptilspitze zu aktivem Auxin verwandelt wird, ist aller Wahrscheinlichkeit nach identisch mit dem ebenfalls nachgewiesenen Hemmstoff. Aus dem Zusammenspiel beider Stoffe ergibt sich die Regulation des Wachstums der betreffenden Organe. Es wird vermutet, daß dieser inaktive Wuchsstoff in vielen Fällen mit dem „gebundenen Auxin" der englisch-amerikanischen Autoren identisch sei. Da dieser „inaktive" Wuchsstoff gar nicht inaktiv ist, sondern als Gegenspieler zu freiem Auxin eine sehr merkliche, allerdings wachstums*hemmende* Wirkung entwickelt, wird vorgeschlagen, von *Antiauxin* statt inaktivem Auxin zu sprechen.

Über Untersuchungen zur Frage der Auxinwirkung auf die Zelle berichtet Pohl[24]). Nach seinen Versuchen besteht der primäre Effekt einer Wuchsstoffzuführung (β-Indolylessigsäure) nicht in einer Membranerweichung, sondern in der Erhöhung der Wasserpermeabilität des Protoplasten.

Einen Beitrag zur Konstitutionsspezifität der Heteroauxinwirkung gibt Steiner[25]). Er konnte zeigen, daß die aktivierte Methylengruppe in der Seitenkette des Heteroauxins eine wahrscheinlich notwendige, aber keinesfalls hinreichende Voraussetzung für die Wuchsstoffaktivität eines Moleküls darstellt. Im Anschluß daran werden grundsätzliche Überlegungen über die Eignung verschiedener Testmethoden für den Vergleich der Wuchsstoffwirkung chemisch verschiedener Substanzen angeführt. Es wird gezeigt, daß hierfür jene Methoden am geeignetsten sind, welche den Effekt der Substanz auf die Zellstreckung möglichst direkt und ohne Umwege zu erkennen gestatten. Sonst können durch verschiedene Transportgeschwindigkeit in der Pflanze oder durch verschiedene Fähigkeit zur Wanderung in transversaler Richtung verschiedene Wachstumseffekte vorgetäuscht werden, ohne daß Unterschiede in der wachtumsbeschleunigenden Wirkung an sich vorhanden sind.

Neben aller grundsätzlichen Bedeutung der Wuchsstofforschung für die Physiologie der Pflanze hat in der letzten Zeit auch die praktische Anwendung synthetischer Wuchsstoffe immer größeren Umfang erreicht. Die Verwendung solcher Wuchsstoffe zur Beschleunigung der Stecklingsbewurzelung und die Versuche über Wachtumsstimulation und Ertragssteigerung durch Wuchsstoffbeizen und ähnliche Maßnahmen dürfen wohl als bekannt vorausgesetzt werden. Auf der an sich ebenfalls bereits seit längerem bekannten Wirkung synthetischer Wuchsstoffe, das Abfallen von Blättern und Früchten zu verzögern, beruht ihre Anwendung im Obstbau. Overbeek[17]) berichtet über in großem Maßstabe und mit bestem Erfolg in den USA. durchgeführte Besprühungen von Obstbäumen, vor allem mit Lösungen von Naphthalinessigsäure, um zu frühes Abfallen der Früchte zu verhindern. Vor allem bei Äpfeln hat sich die Maßnahme sehr bewährt. Overbeek schreibt hierüber: „hormone spraying of apples is already becoming a standard orchard practice that promises to be of immense value to producers in preventing the dropping of fruit before it has reached good size and color. This single application should save far more than all the money spent on all our hormone research."

Mit einem weiteren und letzten Beispiel praktischer Verwertung von Ergebnissen der Wuchsstofforschung sei dieser Bericht beendet. Seit kurzem gewinnen synthetische Hormonpräparate auch in der Unkrautbekämpfung immer größere Bedeutung. Stummeyer[26]) berichtet über Versuche mit 2-4-Dichlorphenoxyessigsäure („U 46"), die an der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Limburger Hof durchgeführt wurden. Während Gramineen gegen „U 46" weitgehend unempfindlich sind, reagieren viele Dikotyle durch stärkste Wachstumsstörungen. Diese führen zu Verkrüppelungen und Sukkulentwerden der Pflanzen, die Samenbildung wird verhindert und bei rechtzeitiger Anwendung gehen die Pflanzen ein. Die 2-4-Dichlorphenoxyessigsäure bedingt offenbar tiefgreifende Störungen des ganzen Wuchsstoffhaushaltes und -gleichgewichtes empfänglicher Pflanzen. Im einzelnen ist die Wirkungsweise zwar noch nicht aufgeklärt, sie führt aber vor allem bei Einwirkung zur Zeit lebhaften Wachstums in kurzer Zeit zum Absterben der betroffenen Pflanzen, besonders dann, wenn die Konkurrenz nicht geschädigter unempfindlicher Pflanzen (Getreide) hinzukommt. Besonders empfindlich sind *Cruciferen*, ferner *Ranunculus*, *Convolvulus*, *Urtica*, *Galinsoga*, *Chenopodium* u. a., also gerade viele der lästigsten Unkräuter, die z. B. in einem Getreidefeld durch Übersprühen des ganzen Feldes im Frühjahr mit einer etwa 0,1%igen Lösung des Bekämpfungsmittels vernichtet werden können, ohne daß das viel unempfindlichere Getreide Schäden leidet. Letzteres wird auch von der 10fachen Konzentration nicht wesentlich geschädigt, wohl aber läßt bei so starker Konzentration der Kornertrag etwas nach und geringe morphologische Veränderungen an Halmen und Ähren können auftreten. Eingehende Untersuchungen zu diesem Thema in groß angelegten Versuchsreihen werden neuerdings auch aus Schweden mitgeteilt (vor allem Aberg, Hagsand u. Väärtnõu[27]), Osvald u. Aberg[28]), Denward u. Aberg[29])[30]). Neben methodischen Fragen wurde die Empfindlichkeit vieler Nutzpflanzen und Unkräuter festgestellt, die Wirkung der Mittel auf die behandelten Pflanzen, auf Samenbildung und Keimung analysiert und der praktische Erfolg dieser Methode in Feldversuchen (bis 34% Erntesteigerung!) geprüft.

Eine ganze Reihe von Fragen praktischer und grundsätzlicher Natur, welche durch diese Versuche aufgeworfen wurden, harren noch der Lösung. Offen ist noch die Frage nach der näheren Wirkungsweise dieser Wirkstoffe im Entwicklungsprozeß. Zu denken wäre vielleicht an eine Veränderung der Plasmaempfindlichkeit gegenüber den Wuchsstoffen und an eine Störung der Regulation der Wuchsstoffwirkungen oder an gewisse antagonistische Effekte zu den körpereigenen Wirkstoffen. Entschieden werden muß auch noch die Frage, ob an sich unempfindliche Arten, welche durch schwächere Konzentrationen nicht sichtbar geschädigt werden, etwa doch Veränderungen genetischer Art erleiden können, was vor allem für die Anwendung derartiger Mittel bei der Saatguterzeugung von grundlegender Bedeutung wäre. Fälle von Keimschädigungen und von Mutationsauslösungen durch chemische Mittel sind ja vielfach beobachtet worden. Ansätze zur Lösung einzelner dieser Fragen sind gemacht, vieles bedarf noch der Klärung.

Weihenstephan, Botanisches Institut der Landwirtschaftlichen Fakultät der Technischen Hochschule München.

Eingegangen am 3. Februar 1949.

[1]) Bonner, D., Cold. Spring Harbor Symp. **11**, 14 (1947).
[2]) Horowitz, N. H., J. of biol. Chem. **171**, 255 (1947).
[3]) Lampen, O., Roepke, R. R. and Jones, M. J., Arch. of Biochem. **13**, 55 (1947).
[4]) Rytz, W. jun., Ber. Schweiz. Bot. Ges. **49**, 339 (1939); nach Ref. in Bot. Zbl. **176**, 73 (1941).
[5]) Hurni, H., Zeitschr. f. Vitaminforschung **15**, 3 (1944).
[6]) Witsch, H. v., Arch. f. Mikrobiol. **14**, 128 (1948).
[7]) —, Biol. Zbl. **67**, 95 (1948).
[8]) Schopfer, W. H. et Boss, M. L., Helv. Physiol. Acta **6**, C 33—C 34 (1948).
[9]) Hurni, H., Experientia **2** (1946).
[10]) —, Zeitschr. f. Vitaminforsch. **16**, 69 (1945).
[11]) Schopfer, W. H., Zeitschr. f. Vitaminforsch. **16**, 181 (1945).
[12]) Schopfer, W. H. et Guilloud, M., Zeitschr. f. Vitaminforsch. **16**, 126 (1945).
[13]) Schopfer, W. H., Posternak, Th. et Boss, M. L., Rev. international de Vitaminologie **20**, 121 (1948).
[14]) Schopfer, W. H., Posternak, Th. et Guilloud, M., Antonie v. Leeuwenhoek **12**, 133 (1947).
[15]) Denffer, D. v., Biol. Zbl. **67**, 7 (1948).
[16]) Skoog, F., Ann. Rev. of Biochem. **16**, 527 (1947).
[17]) Overbeek, J. van, Ann. Rev. of Biochem. **13**, 631 (1944).
[18]) Bonner, J. and Wildmann S. G., Growth **11**, 51 (1947); zitiert nach Ref. in Ber. wiss. Biol. **64**, 82 (1948).
[19]) Guttenberg, H. v. und Büchsel, R., Planta **34**, 49 (1944).
[20]) Guttenberg, H. v. und Lehle-Joerges, E., Planta **35**, 281 (1947).
[21]) Guttenberg, H. v., Naturwiss. **30**, 109 (1942).
[22]) Ruge, U., Planta **35**, 252 (1947).
[23]) Funke, H. und Söding, H., Planta **36**, 341 (1948).
[24]) Pohl, R., Planta **36**, 230 (1948).
[25]) Steiner, M., Planta **36**, 131 (1948).
[26]) Stummeyer, Neue Mitteilungen f. d. Landw. **3**, 345 (1948).
[27]) Aberg, E., Hagsand, E. och Väärtnöu, H., Publ. from the Inst. of Plant Husbandry (crop production) of the royal agricult. college of Sweden **3**, 8 (1948) (schwedisch mit engl. Zusammenfassung und Figurenbeschriftung).
[28]) Osvald, H., ebenda, **3**, 74 (1948).
[29]) Denward, Th. och Aberg, E., ebenda **2**, 259 (1948).
[30]) — —, ebenda **2**, 286 (1948).

Kurze Originalmitteilungen.

Zur magnetischen Dreifach-Aufspaltung in der Ionosphäre.

Durchdrehaufnahmen der Ionosphäre, die durch Senkrechtlotung mit Impulsen veränderlicher Frequenz aufgenommen werden, zeigen im allgemeinen ein Aufspalten der F-Reflektion in der Nähe der Grenzfrequenz in zwei Komponenten, die ordentliche f_0 und die außerordentliche f_x. In hohen Breiten erhält man bisweilen auch eine dritte Komponente f_z. Dies wurde zuerst von Harang[1]), später auch von kanadischen[2]) und australischen[3]) Ionosphärenstationen beobachtet.

Auch in mittleren Breiten ist die dritte Komponente beobachtet worden. Fig. 1 zeigt eine Aufnahme des Instituts für Ionosphärenforschung in Lindau/Harz. Die Komponenten f_0 und f_x zeigen keine definierte Grenzfrequenz, sie sind wie eine Feder in viele Linien aufgespalten, während die dritte Komponente f_z aus einer einzigen Linie besteht. Wir haben die dritte Komponente nur beobachtet, wenn die ordentliche und die außerordentliche Komponente diese Fiederung zeigen. Oft ist diese Fiederung so breit, daß die dritte Komponente darin verschwindet. Bevorzugt treten diese Erscheinungen im Winterhalbjahr nachts auf.

Diese Fiederung deutet darauf hin, daß in der F-Schicht mehrere Reflexionsstellen auftreten, so daß man auch Impulse empfängt, die abweichend von der Senkrechten reflektiert werden. Daß bei senkrechter Reflexion die dritte Komponente in unseren Breiten nicht auftreten kann, zeigt die Dispersionsformel der Ionosphäre.

$$n^2 = 1 - \frac{2\left(1-\frac{\omega_0^2}{\omega^2}-j\frac{\nu}{\omega}\right)\left(\frac{\omega_0^2}{\omega^2}\right)}{2\left(1-j\frac{\nu}{\omega}\right)\left(1-\frac{\omega_0^2}{\omega^2}-j\frac{\nu}{\omega}\right)-\frac{\omega_T^2}{\omega^2}\pm\sqrt{\frac{\omega_T^4}{\omega^4}+4\frac{\omega_L^2}{\omega^2}\left(1-\frac{\omega_0^2}{\omega^2}-j\frac{\nu}{\omega}\right)^2}}$$

Hierin ist $\omega_0 = \frac{4\pi N e^2}{m}$, N = Anzahl der Elektronen pro cm³, e und m Ladung bzw. Masse der Elektronen. $\omega_T = \omega_H \sin\alpha$, $\omega_L = \omega_H \cos\alpha$, $\omega_H = \frac{eH}{mc}$ Umlauffrequenz der Elektronen im erdmagnetischen Feld H. α Winkel zwischen erdmagnetischem Feld und der Wellennormalen. ν Stoßzahl der Elektronen, ω Sendefrequenz.

Bei senkrechter Reflexion an einer zur Erdoberflache parallelen Schicht (für unsere geographische Lage ist dann $\alpha = 22°$) zeigt Fig. 2 für $\omega = 2 \cdot 10^7$ den Realteil von n^2 als Funktion von $\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2$. Die Nullstellen bei $(\omega_0/\omega)^2 \approx 1 - (\omega_L/\omega)$ und $(\omega_0/\omega)^2 = 1$ entsprechen den Reflexionsstellen der außerordentlichen rechts drehenden Komponente bzw. der ordentlichen links drehenden Komponente. An die zweite Nullstelle der außerordentlichen Komponente kommt keine Energie, da die dämpfende Schicht viele Wellenlängen dick ist.

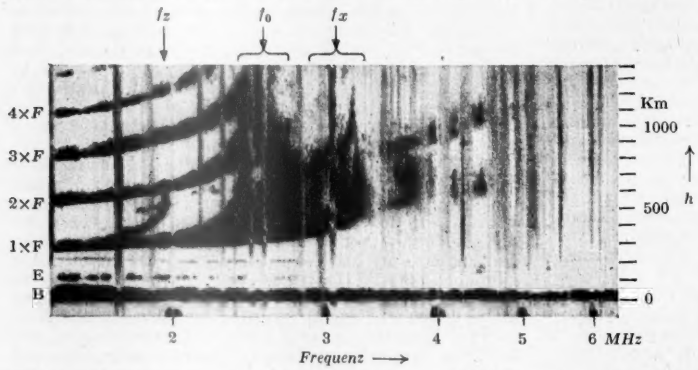


Fig. 1. Durchdrehaufnahme vom 28. November 1948, 0500 Uhr, mit dritter Komponente f_z; ordentliche f_0 und außerordentliche f_x sind in viele Linien aufgespalten (B = Bodenwelle, E = Reflexion v. d. E-Schicht, 1×F, 2×F usw. ein- und mehrfache Refl. v. d. F-Schicht).

Wenn dagegen an der Reflexionsstelle die Wellennormale parallel zum Erdfeld liegt (Fig. 3), so verschwindet die Nullstelle der ordentlichen links drehenden Komponente bei $(\omega_0/\omega)^2 = 1$ und man erhält eine Reflexion dieser Komponente bei $(\omega_0/\omega)^2 = 1 + (\omega_L/\omega)$. Bei Berücksichtigung der Dämpfung findet man, daß

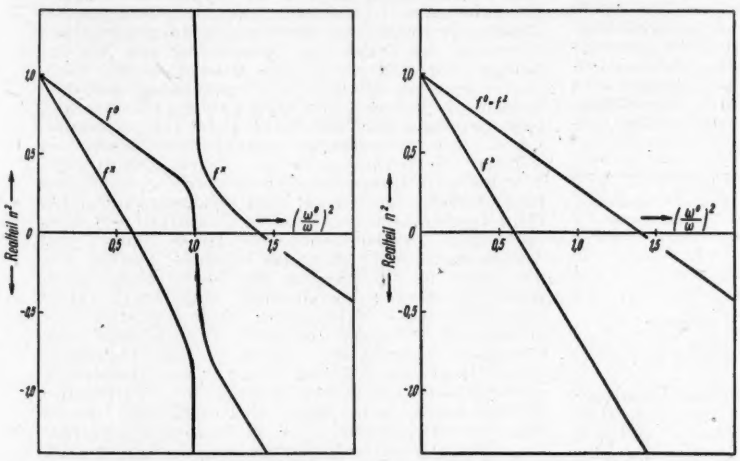


Fig. 2 u. 3. Realteil des Quadrates des Brechungsexponenten n als Funktion der genormten Elektronenkonzentration.
Fig. 2. quasitransversaler und Fig. 3 longitudinaler Fall.

der Charakter der Kurve bei der sogenannten kritischen Stoßzahl umspringt. $\nu_{krit} = \omega_H \sin^2\alpha/2\cos\alpha$. Ist die Stoßzahl vorgegeben, so erhält man umgekehrt einen kritischen Winkel, bei dem der Sprung auftritt. Bei einer Stoßzahl von $2 \cdot 10^3$, wie sie für die F-Schicht wahrscheinlich ist, wird in einem Winkelbereich von $\pm$ 1°20' die transversale Komponente des erdmagnetischen Feldes so gering, daß man Ausbreitung von rein longitudinalem Charakter erhält. Aus diesem schmalen Winkelbereich stammt offenbar die Komponente, die in den Durchdrehaufnahmen mit f_z bezeichnet wird und die, wie es die Theorie verlangt, linksdrehend ist.[4]) Die Durchdrehaufnahmen zeigen also beim Auftreten der dritten Komponente kein wirkliches Triplett[5]), sondern ein Nebeneinander von zwei Fällen, nämlich ein Duplett entsprechend der quasitransversalen Ausbreitung und ein zweites Duplett entsprechend der quasilongitudinalen Ausbreitung. Dabei haben beide Dupletts die außerordentliche Komponente gemeinsam.

Institut für Ionosphärenforschung in der Verwaltung der Max Plank-Gesellschaft (früher Frauenhofer Radio-Institut) Lindau üb. North./Han.

W. Dieminger, H. G. Möller.

Eingegangen am 21. Januar 1949.

[1]) Harang, Terr. Magn. and Atmos. Elect. **41**, 160 (1936).
[2]) Meck, J. H., Nature Vol. **161**, 597 (1948).
[3]) Newstead, Cordon, Nature **161**, 312 (1948).
[4]) Proc. Roy. Soc. **141**, 710 (1933).
[5]) Eckersley, T. L., Nature **161**, 597 (1948).

γ-Fe_2O_3 bei Hochfrequenz.

Vom Verfasser wurde gefunden, daß das reguläre γ-Fe_2O_3 vom Spinelltyp im hochfrequenten Wechselfeld seinen Ferromagnetismus beibehält. Dieses Phänomen ist durch seinen hohen elektrischen Widerstand ($10^9\ \Omega \cdot$ cm)[1]) und seine Halbleitereigenschaften bedingt. Erst bei einer Frequenz, der sogenannten Grenzfrequenz, welche je nach dem thermodynamischen Zustand gewöhnlich zwischen 500 und 1000 MHz liegt, fällt die reale Permeabilität unter gleichzeitigem Anstieg des magnetischen Verlustwinkels. Der angewandte Frequenzbereich erstreckte sich bis 3331 MHz (λ = 9 cm).

Die höchstpermeablen Präparate wurden aus Magnetiten erhalten, welche nach der Methode von Haber und Kaufmann hergestellt wurden[2]). Die aus Magnetit nach den bekannten Methoden von Lefort[3]) und von Baudisch und Welo[4]) erhältlichen Oxyde sowie das ebenfalls ferromagnetische δ-Fe_2O_3[5]) ergeben viel geringere Permeabilitätswerte bei Hochfrequenz.

Die magnetischen und elektrischen Eigenschaften sind stark abhängig von der Herstellungs- und Vorgeschichte des Präparates. Es gelang, solche mit gleich großer Permeabilität und Dielektrizitätskonstante herzustellen.

Eine ausführliche Mitteilung wird in der Kolloid-Zeitschrift erscheinen.

Aus dem Institut für anorganische und analytische Chemie (Vorstand Prof. Dr. G. F. Hüttig) der Deutschen Technischen Hochschule Prag.

Wiggensbach im Allgäu.

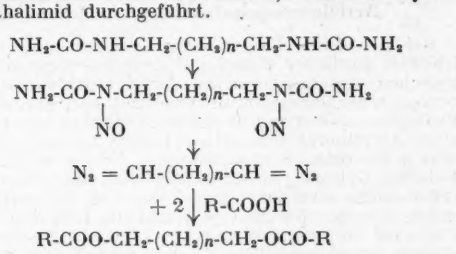
Friedrich Wagenknecht.

Eingegangen am 10. Dezember 1948.

[1]) Sachse, H., Z. Physik **70**, 539 (1931).
[2]) Haber, F., und Kaufmann, A., Z. Elektrochem. **7**, 733 (1900/1901).
[3]) Lefort, J., Compt. rend. **69**, 179 (1869).
[4]) Baudisch, O., und Welo, L. A., Nat. Wiss. **14**, 1007 (1926).
[5]) Glemser, O., und Gwinner, E., Z. anorg. allgem. Chem. **240**, 161 (1939).

Über Bis-diazo-alkane.

Bei der Suche nach einer schonenden Methode, Alkaloide mit benachbarten Methoxylgruppen über die Stufe des freien Diphenols in Dioxy-methylen- oder Dioxy-polymethylen-Verbindungen überzuführen, haben wir uns für die Darstellung und Existenzmöglichkeit von aliphatischen Verbindungen interessiert, welche die Diazogruppe zweimal in ihrem Molekül enthalten. Zur Darstellung dieser Verbindungen gingen wir von α,ω-Diaminen aus, die mit Cyanat in die Diharnstoffe verwandelt wurden. Hieraus wurde mit salpetriger Säure die Di-nitroso-Verbindung dargestellt. Bei der Einwirkung von Kalilauge in Gegenwart von Äther (analog der Darstellung von Diazomethan) ließen sich die entstandenen Bis-diazo-Verbindungen in den Äther überführen, wobei ihre Entstehung sich schon durch die Gelbfärbung der ätherischen Schicht erkennen ließ. Nach dieser Methode ließen sich die Bis-diazo-Verbindungen mit 4, 5 und 6 C-Atomen gewinnen. Die ätherische Lösung hinterläßt nach dem Verdunsten ölige Produkte, denen ein isonitrilartiger Geruch anhaftet. Durch Umsetzung mit Benzoesäure und p-Nitrobenzoesäure in ätherischer Lösung wurden die Di-ester der 1,4-, 1,5- und 1,6-Glykole isoliert. Im Falle des 1,5-Bis-diazo-pentans wurde die Identifizierung auch mit Phthalimid zum 1,5 Penta-methylendiphthalimid durchgeführt.



Nach diesen Ergebnissen lassen sich also die Bis-diazo-Verbindungen mit einer Kettengliederzahl gleich oder größer als 4 nach der gleichen Methode wie

Diazoalkane darstellen. Über die von uns durchgeführten Reaktionen hinaus lassen sich diese sehr reaktionsfähigen Verbindungen analog dem Diazomethan[1]) zu zahlreichen Umsetzungen verwenden.

Bei einer Zahl der Kettenglieder kleiner als 4 treten aber Nebenreaktionen auf. Die Dinitrosoverbindung des 1,3-Trimethylendiharnstoffs liefert zwar mit Alkali eine stark gelbgefärbte Lösung, aber die gelbgefärbten Produkte lassen sich nur zum Teil mit Äther ausschütteln. Die ätherische Lösung enthält 1,3-Bis-diazopropan, das durch Reaktion mit Benzoesäure und *p*-Nitro-benzoesäure nachgewiesen wurde. Die wäßrig-alkalische Schicht enthält noch stickstoffhaltige Verbindungen.

Diharnstoff	Dinitroso-verbindung	Bis-diazo-Verbindung	Dibenzoat des Glykols	Di-p-nitrobenzoat des Glykols
Methylen-	keine	—		
Äthylen-	Fp. 173° u. Z. hydrolysierend	Zerfall		
Trimethylen-	Fp. 126° u. Z.	teilweise Bildung	56°	116°
Tetramethylen-	Fp. 146° u. Z.	Bildung	81/82°	175°
Pentamethylen-	Fp. 145° u. Z.	Bildung		104°
Hexamethylen-	Fp. 150°	Bildung	56/57°	120°

Der Äthylendiharnstoff läßt sich in eine Dinitrosoverbindung überführen, die aber schon beim Umkristallisieren aus wäßrigem Medium hydrolysiert und sich in den Diharnstoff zurückverwandelt. Bei der Einwirkung von Alkali entsteht keine faßbare Menge einer Bis-diazo-Verbindung. In der wäßrigen Schicht sind gelbgefärbte, stickstoffhaltige Verbindungen enthalten. Da bei der Reaktion mit Alkali eine Gasentwicklung auftritt, haben wir die entstehenden Gase untersucht und konnten durch Einleiten in ammoniakalische Kuprosalzlösung die Anwesenheit von Acetylen nachweisen. Bei verschiedenen Versuchen konnten wir maximal 6% der angewandten Dinitrosoverbindung in Kupferacetylid überführen. Man kann diese Acetylenbildung als Hinweis für die intermediäre Bildung des Bis-diazo-äthans ansehen, das in Acetylen und Stickstoff zerfällt:

$$N_2{=}CH\text{-}CH{=}N_2 = 2\,N_2 + HC \equiv CH.$$

Aber diese Umsetzung hat nur den Charakter einer Nebenreaktion, der größte Teil der Dinitrosoverbindung wird in anderen Reaktionen verbraucht. Vom Methylendiharnstoff gelang es uns nicht, eine Dinitrosoverbindung zu erhalten, so daß die Frage, ob das interessante Bis-diazo-methan CN_4 existenzfähig ist, auf diesem Wege nicht geprüft werden kann.

Organisch-chemisches Institut
der Universität Göttingen.

Hans Lettré, Ursula Brose.

Eingegangen am 14. Dezember 1948.

[1]) Vgl. Eistert, B., Synthesen mit Diazomethan. Neuere Methoden der präparativen organischen Chemie. Verlag Chemie 1943.

Über Beziehungen zwischen Stoffwechselaktivität und Acridinorangespeicherung von Zellen.

Bei der Fluorochromierung lebender und überlebender tierischer Zellen mit Acridinorange können zwischen verschiedenartigen Zellen erhebliche Differenzen in der Farbstoffaufnahme und -speicherung des Protoplasmas festgestellt werden. Carcinomzellen speichern Acridinorange in extrem hohem Ausmaß, so daß orange bis rote Fluoreszenzfarben auftreten, dagegen weist das Cytoplasma von Bindegewebs- und Endothelzellen keine sichtbare Anfärbung auf. Herzmuskelzellen nehmen eine Mittelstellung ein, indem sie den Farbstoff im lebenden und überlebenden Zustand in solcher Menge im Plasma speichern, daß eine ausgesprochene Grünfluoreszenz auftritt. Erst nach Absterben dieser Zellen können rote Fluoreszenzfarben gesehen werden („Konzentrationseffekt" nach Strugger)[1]). Dieser unterschiedlichen Speicherfähigkeit für Acridinorange entspricht eine entsprechend verschiedene Stoffwechselaktivität der untersuchten Zellen.

Das Oxydationspotential dieser Zellen hat für das Ausmaß der Farbstoffspeicherung keine Bedeutung, wie Versuche mit Hemmung der oxydativen Fähigkeit der Zellen durch Cyan zeigen konnten. Dagegen bestehen aber anscheinend gewisse Beziehungen zwischen Glykolyse der Zellen und Speicherung von Acridinorange. Allerdings weist die Adsorption des Farbstoffes keine unmittelbaren Zusammenhänge mit dem fermentativ katalysierten Vorgang der Glykolyse auf, sondern lediglich mit der Funktion der submikroskopischen, intraplasmatischen Strukturoberflächen, an welchen die Glykolyse in den Zellen abläuft (vgl. Warburg)[2]). Dieser Befund konnte an Carcinomzellen im Hemmungsversuch mit dem glykolysehemmenden Heptylalkohol erhoben werden. Quantitative Untersuchungen an Hefezellen mit Heptylalkohol und Äthylurethan bestätigten das Ergebnis. Die bei den Versuchen über Hemmung der Farbstoffadsorption benützten glykolysehemmenden Substanzen Heptylalkohol und Äthylurethan sind Narcotica, die Hemmung war somit unspezifisch und stellt eine Oberflächenreaktion dar. Der durch den elektroneutralen Heptylalkohol von seinen Adsorptionsstellen verdrängbare Anteil des gespeicherten Farbstoffes Acridinorange kann nicht elektroadsorptiv durch Ionenaustauschreaktion an die submikroskopische Protoplasmastruktur gebunden sein, sondern es muß hier die sogenannte „echte" oder „van der Waalsche" Adsorption unter topochemischer Bildung von Nebenvalenzverbindungen (Hesse und Sauter)[3]) auf der Oberfläche der adsorbierenden Cytoplasmastruktur vorliegen. Dieser mit der echten Adsorption gebundene Teil des Farbstoffs stellt jedoch nach den eigenen Untersuchungen nur einen relativ geringen Anteil (bei Hefezellen bis zu 25%) des insgesamt gespeicherten Farbstoffs dar. Der weitaus größte Farbanteil wird dagegen mittels Elektroadsorption an amphotere Zelleiweißkörper festgehalten, wie Versuche mit isotonischen, gepufferten Farblösungen unterschiedlicher p_H-Werte zeigen konnten. Der Befund entspricht den Versuchsergebnissen von Strugger an Pflanzenzellen, Bakterien und Hefen. Ein weiterer, geringer Teil des Farbstoffes wird wohl entsprechend der Ansicht Struggers durch Ionenaustauschreaktion an nicht amphotere Plasmabestandteile gebunden. In Carcinomzellen ist die durch echte Adsorption und die durch Elektroadsorption an nicht amphotere Zellbestandteile gebundene Farbstoffmenge verhältnismäßig groß, während an Bindegewebs- und Endothelzellen beide Anteile kaum ins Gewicht fallen. Herzmuskelzellen nehmen auch hier eine Mittelstellung ein.

Durch die obigen Befunde ist eine Erklärungsmöglichkeit für die von Yabusoe[4]) gefundene Hemmung der Tumorglykolyse durch Acridinorange gegeben.

Universität Münster/Westf., Pathologisches Institut.

Norbert Schümmelfeder.

Eingegangen am 20. November 1948.

[1]) Strugger, S., Naturw. **34**, 267 (1947).
[2]) Warburg, O., Über den Stoffwechsel der Tumoren, Springer, Berlin (1926). - Über die katalytischen Wirkungen der lebendigen Substanz. Springer, Berlin (1928). - Schwermetalle als Wirkungsgruppen von Fermenten. Saenger, Berlin (1948).
[3]) Hesse, G. und Sauter, O., Naturw. **34**, 250 (1947); - **34**, 251 (1947).
[4]) Yabusoe, M., Biochem. Z. **168**, 227 (1926).

Über den Farbsinn der Spinnen.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen haben das Vorhandensein eines Farbsinnes bei Spinnen nicht klären können. Ich hoffe, jetzt ein Verfahren gefunden zu haben, diese Frage zu lösen. Im Anschluß an die durch von Buddenbrock auf Seite 98 im 23. Band dieser Zeitschrift geschilderten Versuche an Fliegen untersuchte

ich Hüpfspinnen auf ihr Verhalten in optisch unbewegter Umgebung. In einen innen mattschwarz gefärbten Kasten von 70 cm Länge, 28 cm Höhe und 25 cm Breite setzte ich an die eine Längsseite ein Schwarzweißgitter mit senkrechten Streifen von 1 cm Breite, an die andere dagegen eine gleichmäßig graue oder weiße Fläche. Die in die Mitte des Kastens gesetzte Hüpfspinne lief nach Fixieren beider Wände fast immer zu der Gitterwand, also der optisch gegliederten Seite. Darauf baute ich die Versuche zur Prüfung des Farbsinnes nach folgendem Gedankengang auf. Ich ersetzte die schwarzen Streifen durch orangefarbene. Diesen gab ich in einer langen Folge von Versuchen einen von reinem Weiß durch insgesamt 26 wechselnde Helligkeitsstufen bis zum „Schwarz" absinkenden Untergrund.

Solange sich die Orangestreifen vom Untergrund abhoben, mußte die Spinne das gleiche Verhalten ihnen gegenüber zeigen wie zum Schwarzweißgitter, d. h. sie mußte in der Mehrzahl der Läufe zu ihnen gehen. Die hohe Zahl von Hintergründen verschiedener Helligkeit macht es nun aber außerordentlich wahrscheinlich, daß sich einer darunter befindet, der in bezug auf den Helligkeitswert mit den Orangestreifen übereinstimmt. In diesem Falle könnten sich für die Spinne die Streifen vom Untergrund nur dann abheben, wenn sie auch deren Qualität (Wellenlänge) empfinden kann. Ist dies nicht der Fall, so muß die Spinne sich in der betreffenden Versuchsreihe anders verhalten wie bei den übrigen Experimenten, da ihr ja dann die Streifenwand gar nicht gestreift, sondern glatt erscheint.

Die Versuche wurden folgendermaßen durchgeführt: Einer in die Mitte des Kastens gesetzten Springspinne (Evarcha blancardi Scop.-flammata Clerck) wurden auf einer Längsseite des Kastens unter Glas ein Orangegitter mit einem grauen Untergrund (18:24 cm), auf der anderen Wand unter Glas eine glatte Grau- oder Orangefläche gleicher Größe geboten. Das Verhalten des Tieres wurde dann mit Hilfe einer Zeichenschrift genau protokolliert. Nach 2—3 Läufen der Spinne wurde der Kasten um 180 Grad gedreht. Jedes Tier lief 6—8mal hintereinander. Es wurden mit 26 verschieden hellen Untergründen im ganzen 1331 Läufe durchgeführt. Die Tiere gingen dabei 1203mal zur Gitterseite, 89mal zur glatten Wand und 39mal geradeaus. Die meisten Läufe nach der glatten Seite erfolgten bei einem hellen Grau (52 Läufe, davon 43 zum Gitter, 5 zur glatten Wand, 4 geradeaus). Auch diese Kombination von Grau und Orange, die also die Gitterreaktion am wenigsten hervortreten ließ, zeigte noch mit 82,7% der Läufe eine so überragende Bevorzugung des Gitters, daß dieses wahrgenommen worden sein muß. Das Orange hat also für das Spinnenauge mit allen 26 Helligkeitsstufen kontrastiert. Das kann nur auf Grund seiner Qualität, nicht lediglich seiner Helligkeit geschehen sein.

Es sei betont, daß die Bevorzugung der Gitterseite — zumal nach der Drehung des Kastens um 180 Grad, wenn die Spinne gezwungen ist, dabei ihre Richtung umzukehren — eine so auffällige Erscheinung ist, daß von einem Zufall keine Rede sein kann. Dazu kommt, daß an manchen Tagen bei bestimmter Witterung fast alle oder alle Spinnen nicht auf Gitter reagieren, sondern entweder immer nach rechts oder immer nach links bzw. regellos laufen. Sie geben dabei ein Beispiel dafür, wie die Versuche verlaufen, wenn keine Gitterreaktion wirksam ist. Der Gegensatz zu dem dabei auftretenden Verhalten gegenüber dem der Gitterreaktion ist außerordentlich groß.

Die genauen Versuchsbedingungen, das ganz ähnliche Verhalten gegenüber blauen Streifen, die zahlenmäßigen Ergebnisse bei den einzelnen Graustufen, die Verhaltensformen der Spinnen und dergleichen sollen in einer ausführlichen Arbeit dargestellt werden.

Zoologisches Museum Berlin.

Alfred Kaestner.

Eingegangen am 18. September 1948.

Experimentelle Untersuchungen über die Entstehung des Situs inversus bei Amphibien.

Spemann[1]) gelang die künstliche Herstellung eines inversen, d. h. zum typischen spiegelbildlichen Situs der Eingeweide, indem er bei Amphibienkeimen im Neurulastadium einen mittleren Querstreifen der Medullarplatte samt mesodermaler und entodermaler Unterlagerung herausschnitt und um 180° gedreht wieder einheilte (Replantation). Ebenso ergab eine Durchschnürung der Eier später im rechten Zwilling häufig Situs inversus[2]). Im ersten Falle wurde in der *Drehung*, im zweiten in einem *linksseitigen Materialmangel* der wirksame Faktor gesucht. Da die Herstellung künstlicher Inversionen Aufklärung über die Entstehung der natürlichen, und in gewissem Grade auch über die der normalen Asymmetrie bringen kann, wurde das Drehungsexperiment an Triton alpestris näher analysiert und die Defekthypothese einer direkten Prüfung unterzogen. Außer den bisher dabei in Betracht gezogenen Organen (Darmtraktus und Herz) wurden die ebenfalls asymmetrischen *Ganglia habenulae* des Zwischenhirns untersucht.

Situs inversus kommt bei T. alpestris auch natürlich vor. Unter 472 unbehandelten Larven unseres Materials fanden sich 4 inverse, d. i. 0,85%. O. Mangold[3]) fand früher sogar 2%. Die Häufigkeit mag etwas schwanken. Vereinzelten Inversionen, die nur wenige Prozente ausmachen, ist daher bei den Versuchen keine sichere Bedeutung beizumessen. Bei den Versuchen treten stets nur in einem Teil der Fälle, allerdings mit charakteristischer Häufigkeit, Inversionen auf. Beide Tatsachen zwingen dazu, mit genügend großen Serien zu arbeiten. Für die vorliegende Untersuchung wurden weit über 1500 Keime operiert. 1419 kamen zur Aufzucht und 1088 konnten nach voller Entwicklung ihrer Organe untersucht werden.

Öfters entstehen Mißbildungen, die mit unserer Frage nicht in unmittelbarer Beziehung stehen, sie können aber die Feststellung der Situsverhältnisse unmöglich machen. Ihre Erörterung muß einer ausführlicheren Veröffentlichung vorbehalten bleiben. Im folgenden sind nur die klar bestimmbaren Fälle berücksichtigt.

Der Darmsitus kann meist von außen am lebenden Tier bestimmt werden. Herz und Ganglia habenulae müssen mikroskopisch untersucht werden, was bei den meisten Replantationsversuchen bereits geschehen ist. In den andern Fällen mit Lebendbeobachtung können unsere Zahlen durch diese endgültige Untersuchung noch geringfügige Verschiebungen erfahren.

Tabelle 1. *Inversion des Darmsitus durch Replantation eines Querstreifens der Medullarplatte.*

Serie	Replantation von	Anzahl	% invers
1	Ecto- + Meso- + Entoderm gedreht	25	48
2	Ecto- + Meso- + Entoderm ungedreht	29	48
3	Ecto- + Mesoderm gedreht	28	32
4	Ecto- + Mesoderm ungedreht	25	28
5	Ectoderm gedreht	25	16
6	Ectoderm ungedreht	49	18

Die Wiederholung des Drehungsexperiments von Spemann mit allen drei Schichten (Tab. 1, Ser. 1) bestätigte die früheren Ergebnisse: Situs inversus in 48%. Das gleiche Experiment wurde mit Ectoderm plus Mesoderm und Ectoderm allein (Ser. 3 u. 5) gemacht und zu jeder Serie eine Kontrollserie (Ser. 2, 4, 6) in ganz gleicher Weise, nur ohne die Drehung ausgeführt. Die Ergebnisse zeigt *Tabelle I*. Situs inversus entsteht in jedem Fall, die Häufigkeit nimmt ab mit

der Zahl der betroffenen Schichten. Sehr überraschend ist dabei das Ergebnis der Kontrollversuche. Sie ergaben nicht nur gleichfalls Inversionen, sondern stimmten sogar in deren Häufigkeit innerhalb der Fehlergrenzen völlig mit den entsprechenden Drehungsexperimenten überein. *Die Inversionen werden also nicht durch die Drehung erzeugt.* Es ist schwerlich eine andere Ursache zu finden als die kleinen, oft unvermeidlichen Schädigungen und Defekte durch die Operation. Auch die Abnahme der Inversionen mit der Schwere der Operation weist auf die schon an den Zwillingen aufgestellte Defekthypothese, die auch schon früher durch direkte Versuche[4]) eine nur leider etwas schwache Stütze gefunden hat.

Zum Beweis dieser Hypothese wurden in Gastrula und Neurula systematisch einseitige Defekte durch Materialentnahme gesetzt, in der Neurula an entsprechender Stelle wie bei den Replantationsversuchen, in der Gastrula (sichelförmiger Urmund) an der Stelle der praesumptiven ersten Urwirbel und am Entoderm in geringem Abstand von der Urmundlippe. *Tabelle II* enthält die charakteristischen Ergebnisse. Einige Versuche über den Einfluß der Größe des Defekts und das genaue Alter der Keime sind darin nicht enthalten, sie können erst in der ausführlichen Darstellung berücksichtigt werden.

Tabelle 2. *Inversion des Darmsitus durch Defekte im Neurula- und Gastrulastadium.*

Defekt im	Defekte			
	links		rechts	
	Anzahl	% invers	Anzahl	% invers
a) Neurula				
Mesoderm	83	**11**	59	**3**
Entoderm	78	**23**	54	**20**
Mesoderm + Entoderm	67	**43**	47	**17**
b) Grenzstadium Gastrula-Neurula				
Mesoderm	34	**3**	—	—
Entoderm	28	**36**	—	—
c) Gastrula				
Mesoderm	49	**61**	33	**6**
Entoderm	53	**6**	47	**4**

In der *Neurula* (Wülste mindestens angedeutet) blieben nur Defekte im rechten Mesoderm *ohne* sichere Wirkung. Neu ist nach den bisherigen Vorstellungen, daß auch *rechts*seitige Defekte im Entoderm Inversionen auslösen können. Bei Entnahme von Mesoderm plus Entoderm ist die Wirkung rechts offenbar auch ein reiner Entodermeffekt. Die Erklärung liegt vermutlich darin, daß das Entoderm auf Verletzungen sehr heftig und mit starken Bewegungen reagiert. Es ist denkbar, daß durch solche, im Einzelfall unkontrollierbaren Bewegungen die gesamte Entodermmasse in Mitleidenschaft gezogen wird und das Ergebnis ohne Rücksicht auf den besonderen Ort der Verletzung dem Zufall überlassen bleibt.

Auch an der *Grenze von Gastrula und Neurula* hatten linksseitige Entodermdefekte starke Wirkung. Merkwürdig scheint zunächst, daß Mesodermdefekte hier keine sichere Wirkung hatten, doch ist der Widerspruch zu den andern Mesodermversuchen nur scheinbar. In diesem Stadium ist nämlich die Invagination des Mesoderms noch keineswegs beendet und an der Operationsstelle befindet sich zu dieser Zeit erst wenig und hauptsächlich „kopfmäßiges" Mesoderm, dessen geringe Organisationskraft aus andern Versuchen bekannt ist. Deshalb ist hier keine Wirkung zu erwarten. Es ist aber anzunehmen, daß Defekte in urmundnahem Mesoderm bessere Erfolge liefern würden.

In der *Gastrula* konnten nur mit Defekten im linksseitigen praesumptiven Mesoderm ganz einwandfreie Inversionen ausgelöst werden, da jedoch mit der größten überhaupt erzielten Häufigkeit. Das Entoderm besitzt hier noch genügend Regulationsfähigkeit, um Defekte auszugleichen.

Es lassen sich also durch verschiedene Defekte im Neurula- und auch schon im Gastrulastadium Situsinversionen hervorrufen. Auf diese Ursache läßt sich die Wirkung der Replantations-, wie auch der Schnürungsversuche gleicherweise zurückführen. Im Entoderm wird die Asymmetrie erst im Neurulastadium fest determiniert. Der Organisatorbezirk des Mesoderms spielt dabei eine entscheidende Rolle. Eine nähere Erörterung muß hier unterbleiben, als wahrscheinlichste Annahme sei nur erwähnt, daß der Organisatorbezirk dabei eine auf beiden Seiten verschiedene induzierende Wirkung auf das Entoderm ausübt.

Ein in diesem Zusammenhang bisher nicht betrachtetes Organ sind die *Ganglia (Nuclei) habenulae*, die bei den Amphibien in Größe und Struktur eine ebenso typische Asymmetrie aufweisen wie Darm und Herz. An 53 untersuchten Normaltieren hat sich das ausnahmslos bestätigt. Die Ganglien und ihre Anlagen stehen weder mit den anderen asymmetrischen Organen noch mit der Operationsstelle in direktem Zusammenhang. Trotzdem ergab die Untersuchung, daß bei Inversion des Eingeweidesitus in der Regel auch die Habenula invertiert wird. Bei 83 operierten Tieren mit im wesentlichen normalem, manchmal etwas gestörtem Herzsitus war die Habenula 66mal normal, 4mal invers, 13mal war eine Verschiedenheit der Kerne nicht festzustellen. Dagegen war bei 38 Tieren mit inversem Herz die Habenula 29mal invers, 1mal normal und 8mal auf beiden Seiten annähernd gleich. Dieses Verhalten ist deshalb besonders bemerkenswert, weil mechanische Erklärungen für das Zustandekommen der Inversion, wie sie für die anderen Organe früher versucht worden sind, hier nicht möglich sind. Es weist vielmehr mit den anderen Ergebnissen darauf hin, daß die hier betrachteten Asymmetrien auf einen frühen, den ganzen Keim treffenden Determinationsvorgang zurückzuführen sind, der durch Spemann und Hilde Mangold (1924)[5]) erstmalig in der Wirkung des Organisators erfaßt worden ist.

Heiligenberg-Institut,
Heiligenberg/Baden. Carl v. Woellwarth.

Eingegangen am 3. Januar 1949.

[1]) Spemann, H., Verhandl. d. deutsch. zoolog. Gesellschaft (1906).
[2]) Spemann, H. u. Falkenberg, H., Roux' Archiv f. Entwicklungsmechanik **45**, 371 (1919).
[3]) Mangold, O., Roux' Archiv f. Entwicklungsmechanik **48**, 505 (1921).
[4]) Wilhelmi, H., Roux' Archiv f. Entwicklungsmechanik **48**, 517 (1921).
[5]) Spemann, H. u. Mangold, H., Archiv f. mikr. Anat. u. Entwicklungsmech. **100** (1924).

Analyse von Algenlipoiden.

In den Göttinger Botanischen Anstalten ist während des Krieges damit begonnen worden, einzellige autotrophe Algen in Laboratoriumsmassenkultur zu nehmen, wobei angestrebt wurde, das Fett, das gewisse dieser Mikroorganismen unter bestimmten Bedingungen in erheblichem Maße bilden, in solcher Menge auszubeuten, daß es für die menschliche Ernährung in Betracht kommen kann[1]). Auch in Amerika hat man nach brieflichen Mitteilungen den gleichen Weg beschritten, und die Engländer haben auf Trinidad eine Anlage in Gang, deren „pilot plant is a product of a pioneer plankton probe pursued by Professor Richard Harder in Germany during wartime blocade"[2]). Von wesentlicher Bedeutung für die Verwendbarkeit des Algenöles als Nahrungsquelle ist natürlich seine Zusammensetzung. Wir geben daher nachstehend, zu-

nächst ohne Kommentar, das Ergebnis von Analysen wieder, das mittels einer zur Bestimmung geringer Lipoidmengen ausgearbeiteten Adsorptionsmethode[3]) von den ätherlöslichen Lipoiden aus künstlichen Kulturen einer Chlorella- und einer Scenedesmusart (2 Grünalgen) und Nitzschia palea (Kieselalge) gewonnen worden ist (Tab. 1).

Tabelle 1. *Prozentuale Zusammensetzung der Lipoide des Aetherextraktes der 3 Algen.*

	Chlorella	Scenedesmus	Nitzschia
Farbstoffe	14.3%	38.9%	16.0%
Phosphatide	0.9%	0.7%	0.5%
Kohlenwasserstoffe und Wachse	0.5%	3.9%	1.4%
Sterinester?	2.4%	0.3%	1.6%
Freie Sterine	0.3%	3.6%	1.5%
Triglyceride	78.5%	50.6%	80.5%
Freie Fettsäuren	—	—	—
	96.9%	98.0%	101.5%

Der Gehalt an ätherischen Ölen, die durch Wasserdampfdestillation abgetrennt und nicht im einzelnen analysiert wurden, betrug bei Chlorella 1,5%, bei Scenedesmus 2% und bei Nitzschia 9,5%.

Die Jod- und Rhodanzahlen bei Chlorella und die Jodzahlen bei Nitzschia stiegen kontinuierlich in dem angegebenen Bereich bei fortlaufender erschöpfender Elution (mit Benzol) der an eine Aluminiumoxydsäule adsorbierten Triglyceride. Näheres hierüber s. in der Originalmitteilung von H. Kathen[3]).

Tabelle 2. *Bestimmungen an den Triglyceriden.*

	Chlorella	Scenedesmus	Nitzschia	Nektarhefe[4])	Mohnöl[5])
Verseifungszahl	188 (Mittel)	189 (Mittel)	192 (Mittel)	197	189—194
Jodzahl	93—168	136—139	86—116	70	131—143
Rhodanzahl	59— 94	85— 90	59— 64	?	76— 79

Die Triglyceride aller drei Algen (Tab. 2, mit Werten von fettbildender Nektarhefe und Mohnöl zum Vergleich) dürften Fettsäuren mit der durchschnittlichen C-Atomzahl 18 enthalten. Auf Grund der Jod- und Rhodanzahlen ist anzunehmen, das im Chlorellalipoid 2 Triglyceride von der Zusammensetzung

Glycerin—{Stearinsäure, Ölsäure, Linolsäure} und Glycerin—{Linolsäure, Linolsäure, Linolsäure}

enthalten sind, daß bei Scenedesmus nur eines von der Form

Glycerin—{Stearinsäure, Linolsäure, Linolsäure}

und bei Nitzschia wieder zwei von der Zusammensetzung

Glycerin—{Stearinsäure, Ölsäure, Linolsäure} und Glycerin—{Stearinsäure, Linolsäure, Linolsäure}

vorkommen.

Göttingen, Physiologisch-chemisches Institut der Universität, Botanische Anstalten der Universität.

H. J. Deuticke, H. Kathen, R. Harder.

Eingegangen am 11. März 1949.

[1]) Harder, R., und Witsch, H. v., Der Forschungsdienst, Sonderheft **16**, 270 (1942).
—, —, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. **60**, 146 (1942).
Witsch, H. v., Naturwiss. **33**, 221 (1947).
—, Arch. f. Mikrobiol. **14**, 128 (1948).
—, Biol. Zbl. **67**, 95 (1948).
Denffer, D. v., Biol. Zbl. **67**, 7 (1948).
—, Arch. f. Mikrobiol. **14**, 159 (1949).
[2]) Christian Science Monitor vom 28. 1. 1949.
[3]) Kathen, H., Über die Ermittlung der chemischen Konstitution von Algenlipoiden mit Hilfe der Adsorptionsmethode. Demnächst im Arch. f. Mikrobiologie.
[4]) Rippel-Baldes, A., Pietschmann-Meyer K. und Köhler, W., Arch. f. Mikrobiol. **14**, 113 (1948).
[5]) Bömer, A., Juckenack, A., und Tillmans, J., Handbuch der Lebensmittelchemie, Bd. IV, Berlin 1939.

Besprechungen.

Becker, Fr., **Einführung in die Astronomie.** Meyers Kleine Handbücher, Bd. 41. Zweite erweiterte Auflage, Leipzig 1947.

Im Gegensatz zur Physik oder Chemie gibt es innerhalb der Astronomie kein deutschsprachiges Lehrbuch (das einzige „Lehrbuch der Astronomie" von E. und B. Strömgren ist seit Jahren vergriffen), welches das gesamte Gebiet der Astronomie in der für den Studenten notwendigen Eindringlichkeit darstellt. Vielmehr ist der Student heute auf mehrere, zum Teil sich in für ihn unnötige Einzelheiten verlierende Monographien angewiesen. Diesem Mangel kann und will die vorliegende Einführung mit 145 Seiten natürlich nicht abhelfen; trotzdem gibt sie ein erstaunlich vollständiges Kompendium der klassischen und modernen Astronomie, das durchaus geeignet ist, dem Anfänger einen Überblick über das Gesamtgebiet zu geben — sofern er darauf verzichtet, Fragen aus der Astrophysik beantwortet zu sehen. Letztere wird — ein Zugeständnis an die vor allem in Amerika beheimatete Zweiteilung der Himmelskunde — grundsätzlich aus dem Rahmen dieser „Astronomie" herausgenommen und einem weiteren Bändchen vorbehalten. Der Verfasser versteht es meisterlich, die Einzelabschnitte der Astronomie (Sphärische Astronomie, Mechanik des Sonnensystems, Stellarastronomie, Bau des Milchstraßensystems, Weltinseln) auf einem Umfang von jeweils rund 20 Seiten in knapper Sprache klar herauszuarbeiten und den Leser an die wichtigsten Forschungsergebnisse heranzuführen. Dabei wird von Formeln in dem zur Vertiefung des Verständnisses eben notwendigen Umfang Gebrauch gemacht, wobei einfachere Formeln unmittelbar hergeleitet werden. 38 Abbildungen leisten dazu eine gute Hilfe, durch die es auch dem interessierten Laien möglich wird, dem Aufbau des gesamten Lehrgebäudes von der Beschreibung der scheinbaren täglichen Bewegungen bis zu den Rotverschiebungen bei den Spiralnebeln zu folgen. Zahlreiche im Text verstreute Tabellen, dazu ein Anhang mit tabellarischer Zusammenstellung unserer gesicherten Kenntnisse von Planeten, Kometenbahnen, Doppelsternen und den 38 nächsten Fixsternen runden die Darstellung in glücklicher Weise ab. Der Leser mag, legt er das Büchlein aus der Hand, vielleicht ein *zu* abgerundetes Bild vom Universum erhalten haben: es wurde ihm sehr viel gesagt von dem, was wir wissen, aber fast nichts von dem, was wir nicht wissen. Und das letztere ist gerade der Antrieb der Forschung. Freilich hätte eine solche Darstellung den Umfang des Büchleins wesentlich vergrößert. Es wäre erfreulich, wenn dieser Astronomie bald eine ebensolche Astrophysik folgte.

H. Haffner.

Eingegangen am 10. Januar 1949.

Brinkmann, Roland, **Emanuel Kaysers Abriß der Geologie.** Sechste, gänzlich neu bearbeitete Auflage. Zweiter Band: Historische Geologie. 356 Seiten mit 64 Abbildungen und 58 Texttafeln. Verlag von F. Enke, Stuttgart 1948. Preis: geh. DM. 25,—, geb. DM. 27,—.

Nun liegt auch der zweite Band dieses in studentischen Kreisen schon immer sehr geschätzten knappen Lehrbuches in der Bearbeitung von R. Brinkmann vor. Im Vergleich zum ersten Bande erscheint die Neubearbeitung auf den ersten Blick weniger umwälzend, aber man überzeugt sich bald, daß tatsächlich ein ganz neues Buch entstanden ist. Der Text ist dem heutigen Stande unseres Wissens angepaßt, so weit das unter den Nachkriegsverhältnissen in Deutschland überhaupt möglich war. Auch die paläontologischen Tafeln wurden neuzeitlicher gestaltet, ein Unternehmen, das sehr zu begrüßen ist und vielleicht in den sicher bald notwendig werdenden Neuauflagen noch fortgesetzt werden könnte. Zahlreiche neue vergleichende Schichtentabellen und paläogeographische Karten ergänzen die Darstellung sehr wirkungsvoll; die letzteren tragen naturgemäß mancherlei subjektive Züge. Zusammenfassend darf man die Modernisierung des „Kayser" als durchaus gelungen bezeichnen. Das ist um so erfreulicher, als das Buch gegenwärtig das einzige verfügbare neuzeitliche Lehrbuch der historischen Geologie in Deutschland darstellt. Es kann daher ohne Einschränkung den Studierenden und anderen erdgeschichtlich interessierten Lesern bestens empfohlen werden.

E. Bederke.

Eingegangen am 10. Dezember 1948.

Romeis, Benno, **Mikroskopische Technik.** 15. verbesserte Auflage. 695 S. München, Leibniz-Verlag (bisher R. Oldenbourg) 1948.

Für die histologische und zytologische Praxis stellt der „Romeis" im deutschen Sprachbereich das maßgebliche Buch dar. Die neue, 15. Auflage ist besonders deswegen höchst willkommen, weil seit Jahren das Buch vergriffen war, und zweitens, weil die ersten Ansätze gemacht sind, die durch ungemein rasches Fortschreiten der mikroskopischen Technik besonders in den USA. bei uns aufgetretenen Lücken auf diesem Gebiet zu beseitigen. Da nach Vernichtung des ursprünglichen Satzes eine völlig neue Drucklegung des Buches nötig war, ist durch Änderung des Formates endlich von der durch nichts mehr gerechtfertigten Taschenbuch-Bezeichnung abgegangen worden. Das Buch hat dadurch zweifellos an Handlichkeit gewonnen. Die Gliederung ist die gleiche wie im alten Taschenbuch. Die Paragraphennumerierung stimmt mit der der letzten Auflage überein; sie sollte auch bei künftigen Auflagen beibehalten werden, da öfters Romeis-Rezepte nach Paragraphen zitiert werden. Das Buch ist im übrigen so bekannt und bewährt, daß kritische Bemerkungen überflüssig erscheinen. In der neueren amerikanischen Literatur spielt der histochemische Nachweis alkalischer und saurer Phosphatasen eine beträchtliche Rolle; hierüber findet sich noch nichts im Romeis. Bei den Vitamin-Nachweisen könnte vielleicht die Aneurin-Thiochrom-Reaktion aufgenommen werden.

R. Bachmann.

Eingegangen am 10. November 1948.

Knight, R. L., **Dictionary of Genetics.** 1948. Waltham, Mass.: the Chronica Botanica Co.; Groningen, Holland: N. V. Erven F. Noordhoff. 183 Seiten. Preis 4,50 Dollar.

Der Verlag bezeichnet das Buch als das erste Diktionär, das die Termini erklärt, die in der tierischen, menschlichen und pflanzlichen Genetik sowie in der Zytologie, Evolution und pflanzlichen wie tierischen Züchtung verwendet werden. Die Erläuterungen sind denkbar kurz; sie beschränken sich oft auf einige Worte und gehen selten über mehr als einige Druckzeilen hinaus; etymologische Ableitungen werden nicht gegeben. So wurde es aber möglich, etwa 3000 Fachausdrücke in alphabetischer Reihenfolge zu erörtern, wobei auch die Grenzgebiete zum Teil mit behandelt worden sind; so kann man sich z. B. über Auxin und Adermin, Angström und Millimicron, Vernalisation und Photoperiodismus, Caprification, C-Tumoren und Ökologie informieren und über endemisch und endogen nachschlagen; in einem Anhang sind mancherlei Formeln und nützliche Hinweise zusammengestellt. Das Literaturverzeichnis mit rund 120 Nummern enthält ausschließlich Arbeiten in englischer Sprache, darunter einige aus dem Deutschen übersetzte.

Als eines der Hauptziele des Buches gibt der Verfasser im Vorwort die Stabilisierung der Fachausdrücke an. Die Genetik sei eine noch junge Wissenschaft, so daß die Autoren oft ihre eigenen termini technici geprägt hätten. Die genetische Literatur würde leichter verständlich sein, wenn die Autoren in vielen Fällen einen schon bestehenden Ausdruck gewählt hätten, statt einen neuen zu schaffen; dadurch wäre verhindert worden, daß z. B. für ein und dieselbe Sache die Ausdrücke centromere, kinetochore, kinomere, kinetic constriction, primary constriction, centric constriction, spindle attachment, insertion region, attachment region und attachment constriction gebraucht würden.

Verfasser bezeichnet sein Unternehmen selbst als einen Versuch und meint, die erste Ausgabe werde zweifellos Irrtümer enthalten. Das ist nun allerdings tatsächlich in erheblichem Maße der Fall. Dafür einige Beispiele, die dem Referenten beim Duchblättern des Buches aufgefallen sind.

Aleurone: „Die peripheren, dickwandigen Zellen des Samen-Endosperms speziell der Gramineen." In Wirklichkeit ist Aleuron vom Protoplasma in bestimmter Gestalt abgeschiedenes Protein, das allerdings beim Getreidekorn in einer bestimmten Zellschicht, die aleurone-layer heißt, liegt, was jedoch ein ausgesprochener Spezialfall ist; sonst ist das Aleuron über das ganze Nährgewebe verteilt.

Alteration of Generations: „Ein Wechsel einer geschlechtlichen mit einer ungeschlechtlichen Form, oder zytologisch, der Wechsel eines haploiden mit einem diploiden Zustand (stage)." Nach dieser Definition muß man annehmen, daß jede Pflanze mit sexueller Vermehrung, bei der ja stets durch die Kopulation der haploiden Gameten eine diploide Zygote entsteht, Generationswechsel habe, während er tatsächlich nur dann vorliegt, wenn die diploide Phase sich weiterentwickelt zu einer Generation mit ungeschlechtlichen Sporen, bei deren Bildung dann erst die Reduktionsteilung erfolgt. Kernphasenwechsel und Generationswechsel sind hier also durcheinandergeworfen.

Analogy fehlt.

Archiplast fehlt.

Chloroplast: er enthält Chlorophyll, das „mitunter von anderen Farbstoffen begleitet ist"; in Wirklichkeit enthalten die Chloroplasten *stets* noch mindestens zwei Carotinoide.

Cell: Als Charkteristikum der pflanzlichen Zelle gegenüber der tierischen wird das Vorhandensein einer Zellwand angegeben. Es gibt aber auch wandlose Zellen bei den Pflanzen.

Embryo-sac, Embryo-sac Mother-cell. Bei Embryosack-Mutterzelle wird gesagt, daß aus ihr eine Zelltetrade entstände, von deren Zellen *eine* sich zum Embryosack entwickle. Dieser wird, was richtig ist, der Megaspore gleichgesetzt. Sucht man weiter, was Embryosack und Megasporen sind, so liest man bei „*Megaspore*", daß sie die größeren der Sporen bei heterosporen Pflanzen seien und, was in diesem Zusammenhang das wesentliche ist, bei den Samenpflanzen „dem Embryosack den Ursprung" gäbe. Unter „*Embryosack*" findet man dann überraschenderweise die Angabe, er sei „der weibliche Gametophyt, durch Teilung der Megaspore gebildet". Nach der einen Definition sind also Megaspore und Embryosack dasselbe; nach der anderen entwickelt sich der Embryosack erst aus der Megaspore, und zwar als Gametophyt. Klar und auch richtig ist hierbei zweifellos, daß sich der Gametophyt aus der Spore ent-

wickelt, unklar bleibt, ob der Embryosack eine andere Benennung für die Megaspore oder für den Gametophyten ist. Das Wort „*Prothallus*", das vielleicht Aufschluß hätte geben können, weil es wenigstens bei gewissen Pflanzen der Name für den weiblichen Gametophyten ist, fehlt leider in dem Buch.

Bei der Definition des „*Gametophyte*" wäre bei der haploiden Chromosomenzahl wohl besser hinzugefügt „im allgemeinen", da es auch Ausnahmen von der Regel gibt.

Endomixis wird als ein mitunter bei Paramaecium vorkommender Sonderfall der Selbstbefruchtung bezeichnet; sie ist aber auch bei Pflanzen bekannt.

Gestation Periode. In der Tabelle der Trächtigkeitsdauer vermißt man die der Maus, die für den Genetiker wichtiger sein dürfte als die des u. a. mitgeteilten Somali-Esels, des baktrischen Kamels, des europäischen Bisons und des afrikanischen und indischen Elefanten.

Haplobiont, Diplobiont. Als Haplobiont wird eine Pflanze bezeichnet, „die keinen Generationswechsel hat, so daß es in ihrer gesamten Lebensgeschichte nur *einen* Typ von Individuen gibt". Als Diplobiont erwartet man nun einen Typ mit Generationswechsel, während hier definiert wird „Eine Pflanze mit zwei Blühperioden in jedem Jahr". Es sind hier also Definitionen mit ganz verschiedenen Gesichtspunkten einander gegenübergestellt. Da hier, wie fast nirgends, gesagt wird, von wem und in welchem Zusammenhang die Begriffe geprägt worden sind, können solche Angaben nur Verwirrung hervorrufen. Mit der ursprünglichen Bedeutung der Bezeichnungen haben weder die eine noch die andere Definition etwas zu tun. Die Worte sind, so weit Referent im Bilde ist, 1916 von Svedelius zuerst für die besonderen Verhältnisse bei den Rotalgen angewandt worden, wo es einen Typus gibt, bei dem trotz Vorhandensein eines Generationswechsels der gesamte Lebenszyklus sich auf *einem* Individuum abspielt; das sind nach Svedelius die Haplobionten, bei denen ein in diesem Fall haploider Karposporophyt als Parasit dem ebenfalls haploiden Gametophyten aufsitzt. Bei den Diplobionten hingegen kommt noch ein selbständig lebender diploider Tetrasporophyt hinzu. Später sind dann allerdings von den Botanikern nicht selten die beiden Begriffe statt Haplont und Diplont verwendet worden, wodurch eine große Verwirrung entstand, die nun durch die Definitionen im Knightschen Wörterbuch noch weiter gesteigert wird.

Haplodiplont: „Eine haploide sporenbildende Pflanze." Referent ist diese Begriffsbildung nicht geläufig, und er hält es auch für sinnwidrig, eine haploide Pflanze Diplont zu nennen. Ob hier vielleicht eine Verwechslung mit Hartmanns „*Diplohaplonten*" vorliegt, die in dem Wörterbuch leider nicht angeführt sind? Nach der von Knight gegebenen Auslegung für Haplodiplont ist das allerdings nicht gut möglich, denn Diplohaplonten nennt Hartmann Pflanzen, deren Generationswechsel aus einer diploiden ungeschlechtlichen und einer haploiden Geschlechtsgeneration besteht.

Haplont. Die Angabe, daß die meisten Algen und Pilze Haplonten seien, ist veraltet. Wir kennen sehr viele mit sehr ausgesprochener diploider Phase (z. B. sämtliche Braunalgen, sämtliche Holobasidiomyceten).

Heteroauxin: „Ein Pflanzenwuchsstoff im Urin." Das Heteroauxin kommt auch in Pflanzen vor (Bakterien, Pilze, Blütenpflanzen).

Hormone wird als Produkt des tierischen Metabolismus bezeichnet, das durch spezielle endokrine Drüsen erzeugt wird. Daß es auch bei den Pflanzen zahlreiche Substanzen von Hormoncharakter gibt, hätte unbedingt erwähnt werden müssen, wenn es auch Stimmen gibt, die wenigstens für gewisse solcher pflanzlichen Verbindungen das Wort Hormon nicht anwenden wollen (Zimmermann und Hitchcock, 1942).

Megasporangia. Sie werden den Samenanlagen gleichgesetzt. Das trifft aber nur für einen Teil der Pflanzen zu; bei den gesamten heterosporen Pteridophyten gibt es zwar Megasporangien, aber überhaupt noch keine Samenanlagen.

Perigon fehlt.

Pollen-tube. Er wird als protoplasmatischer Schlauch bezeichnet. In Wirklichkeit besitzt er eine völlig eindeutige Wand, ohne die er seine Funktion überhaupt nicht erfüllen könnte.

Spore. Die Angabe, sie seien „zur direkten Bildung von Gameten" befähigt, trifft mindestens für die pflanzlichen Sporen nicht zu; diese bilden sogar niemals Gameten, sondern immer zunächst vegetative Pflanzen.

Virus fehlt.

Referent glaubt, daß in einem Buch mit dem Ziel, die Fachausdrücke zu stabilisieren, auch bereits in der 1. Auflage eine größere Sicherheit für die Richtigkeit der Erklärungen bestehen sollte. Die Aufforderung des Verfassers, die Leser möchten ihm Vorschläge zu Korrektionen machen, ist für den Verfasser selbst zweifellos nützlich, aber für den Leser und die Wissenschaft ist es doch etwas verdrießlich, wenn durch ein Diktionär falsche Definitionen in breite Kreise getragen werden.

R. Harder.

Eingegangen am 21. Dezember 1948.

Granit, Ragnar, **Sensory Mechanisms of the Retina.** (Nobel-Institut für Neurophysiologie, Stockholm.) (Oxford 1947.)

Es ist beinahe 100 Jahre her, daß Du Bois Reymond den elektrischen Ruhestrom, der von der Hornhaut zum Augenhintergrund fließt, entdeckt hat. Aber die ganze Entwicklung der Elektrophysiologie in diesen 100 Jahren, auf den Fortschritten der elektrischen Meßtechnik fußend, war notwendig, um elektrophysiologische Verfahren am lebenden Auge dazu benutzen zu können, die im *subjektiven* Experiment so sorgfältig begründeten Gesetzmäßigkeiten des Sehens, die bisher völlig die Lehre von der Physiologie des Lichtsinnes beherrschten, durch *objektive* Erkenntnisse wirklich zur „*Physiologie*" zu machen. Chemische und physikalisch-chemische Methoden haben gewiß unsere Einsicht in das photochemische Geschehen in der Netzhaut erweitert. Was aber von all den gefundenen Stoffen und Reaktionen für die Funktion des Sehorganes wirklich bedeutungsvoll und was Nebenprodukt oder gar Artefakt ist, blieb bisher vielfach offen. Die Brücke zwischen dieser Art der Forschung und den subjektiven sinnesphysiologischen Beobachtungen fehlte so gut wie völlig. Was schließlich von den berühmten und bewundernswerten Theorien und Hypothesen der „subjektiven" Physiologie des Sehens „*Psychologie*", was „*Physiologie*", was Leistung der peripheren Apparate (Netzhaut) oder aber des Gehirnes ist, blieb Vermutung.

Die moderne Elektrophysiologie des Auges, an deren Aufbau R. Granit seit über 15 Jahren hervorragend beteiligt ist, hat hier nunmehr eine Bresche geschlagen. Diese entscheidende Tatsache ist der Inhalt des Buches. Wenn auch seine Lektüre einige Sachkenntnis voraussetzt und wenn auch manche Kapitel durch die Häufung von Befunden, wertvoll im Sinne eines Archives, schwere Kost bedeuten, so fesselt es doch vom Anfang bis zum Ende. Natürlich muß man Sinn haben für die Fragestellung, wie es nämlich die Natur fertiggebracht hat, den Gang der Lichtstrahlung in der Umwelt für die lebenden Organismen wahrnehmbar zu machen. Grob gesprochen handelt es sich darum, daß eine Art physikalischer Abbildung der Umwelt mittels des „dioptrischen Apparates" in der Netzhaut über photochemisches Geschehen in rhythmische Signale umgewandelt, dem Zentralnervensystem zur Analyse präsentiert wird. Örtliches Nebeneinander, Helligkeit und ihre zeitlichen Veränderungen sowie ihre spektralen Unterschiede werden also in Rhythmen auf verschiedenen Leitungsfasern gesendet.

Daß alle Nervenleitungsvorgänge rhythmischer Natur sein müssen, wobei Frequenzbereich und Leitungsgeschwindigkeit Charakteristika der einzelnen Faserarten sind, ist wohl bekannt. Man nimmt an, daß elektrische Primärvorgänge in den Empfangsorganen zur Depolarisation der ableitenden Fasern

führen und dadurch die Autorhythmik dieser auslösen. So sind es auch zwei verschiedene Problemenkreise, denen die Experimentalarbeit des Autors galt: die Netzhautpotentiale (Elektroretinogramm) und die Aktionspotentiale der im Sehnerven erfaßten Einzelfaser. Auf den klassischen Experimenten von Brückes, S. Gartens, W. Einthovens, Kohlrauschs u. a. aufbauend, wird zunächst mit moderner Registriertechnik das Elektroretinogramm verschiedener Tierarten bzw. Netzhauttypen aufgezeigt und die Analyse dieses, als Summenableitung von zeitlich, richtungsmäßig und nach den Schwankungen der Intensität ganz verschieden ablaufenden Teilpotentialen aufzufassenden Vorganges ausführlich besprochen. Sauerstoffmangel, Kalium- oder Alkoholwirkung und schließlich Interferenz verschiedener Lichtreize (z. B. Neubelichtung während des „Aus-Effektes") werden hierzu ausgenützt. Eine befriedigende Deutung aber wird erst möglich durch die Heranziehung der Mikroelektrodentechnik des Autors, welche die Überwachung der Reaktionen in den Einzelelementen sowie in der Einzelfaser gestattet. Über die Technik wird in einem Anhang berichtet.

Es läßt sich feststellen, daß es Netzhautelemente gibt, welche im Dunkel einen Spontanrhythmus zeigen, der auf Belichtung schweigt, andere, die vorher schweigen und auf Belichtung in Tätigkeit kommen, ferner solche, welche im Augenblick der Belichtung, zusätzlich zu einem langsamen Grundrhythmus, vorübergehend in gesteigerte Tätigkeit geraten (On-Effekt) und dasselbe im Moment der Ausschaltung des Reizlichtes (Off-Effekt) oder aber wieder andere, welche nur das letztere tun. Nach Kenntnis dieser Elementarvorgänge ist es möglich geworden, nicht nur die berühmte „Duplizitätstheorie" (J. v. Kries) des Sehens, die zwei, völlig verschiedenen Aufgaben dienende Grundapparate (Stäbchen und Zapfen) annimmt, wirklich objektiv zu beweisen, sondern auch andere Vorgänge, wie die Dunkeladaptation, die Bedeutung des Sehpurpurs, die ja bisher eigentlich nur durch scharfsinnigen, quantitativen Vergleich mit den subjektiven Beobachtungen vermutungsweise geklärt waren, zu objektivieren. Auch die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Netzhautregionen, im Sinne gesteigerter oder verminderter Empfindlichkeit bis zur völligen Hemmung über die intraretinalen Querverbindungen, die Bedeutung der belichteten Flächengröße usw. erbringen charakteristische Aktionsstrombilder. Sie alle tragen nun zum Verständnis vieler Erscheinungen bei und lassen die hohe Leistungsfähigkeit der Netzhaut nicht nur als Rezeptionsfeld, sondern als vorgeschobenes, zentralnervöses Zentrum erkennen.

Der Vergleich der bisher bekannten, photochemischen Reaktionen der Netzhautsubstanzen, vor allem des Sehpurpurs und des Sehvioletts — (besonders ausführlich werden die wichtigen Arbeiten von Lythgoe berücksichtigt) — mit den objektiven Reaktionsvorgängen des Elektrogrammes führt dann über die Fragen der Hell- und Dunkelanpassung zu dem trotz geistvoller Theorien erster Forscher stets leidenschaftlich umstrittenen Problem des Farbsehens. Die heute international im praktischen Gebrauche befindliche Empfindlichkeitskurve des Auges gegenüber verschiedenen Spektralbereichen bei Hell- und Dunkeladaptation, mit der bekannten Purkinjeschen Verschiebung des Empfindlichkeitsmaximums vom langwelligen nach dem kurzwelligen Teil des Spektrums, läßt sich in erstaunlicher Präzision an den Augen von vielerlei Wirbeltieren verifizieren. Es ist faszinierend zu sehen, wie die Natur zur Erreichung ein und desselben Zweckes an so verschiedenen Stellen die gleiche Lösung gefunden hat. Die elektrophysiologischen Befunde erbringen aber eine wirklich gute Übereinstimmung nur mit den Messungen der Lichtabsorption von Sehpurpur und Sehviolett. Keinerlei Übereinstimmung ließ sich finden hinsichtlich der „Zapfensehstoffe", welche verschiedene Forscher gefunden zu haben glauben. Die Befunde dieser gehen ja allerdings noch so weit auseinander, daß noch nicht einmal für die Löslichkeit dieser Stoffe (lipoidlöslich oder wasserlöslich) eine bindende Entscheidung vorzuliegen scheint.

Die Erkenntnis, daß offenbar für Helligkeit und Farbunterscheidung an allen untersuchten Netzhautarten weitgehend voneinander unabhängige und doch in gewissem Sinne zusammenarbeitende Funktionsmechanismen vorhanden sind, wurde der Anlaß zu der *Dominator-Modulator-Theorie Granits*, welche den letzten Teil und wohl auch eine Art Höhepunkt des Buches bildet. Es gibt danach ein „Photopic Dominator"-System, welches in der hellangepaßten Retina die Wahrnehmung der Helligkeit vermittelt, sowie ein „Scotopic-Dominator"-System, welches die gleiche Aufgabe an der Dunkelnetzhaut erfüllt. Das Eingreifen von „Modulatoren" ist es, welches neben der Helligkeit die Farbwahrnehmung ermöglicht. Die Summationskurven der Modulatorempfindlichkeit scheinen die Empfindlichkeitskurven des Photopic-Dominator-Systems zu ergeben. Zweifellos hat der Autor nachgewiesen, daß nicht notwendigerweise zentralnervöse Funktionen, sondern allein schon retinale Vorgänge das Farbsehen zu erklären gestatten. Die allgemeine Annahme von Th. Young und H. v. Helmholtz, *daß der periphere Sehapparat eine begrenzte Anzahl von empfindlichen Mechanismen enthält, deren Maximalempfindlichkeit in verschiedenen Spektralbereichen liegt, wird vom Verfasser erwiesen.* Es handelt sich eben um jene „Modulatoren". Treffend und humorvoll bemerkt er, daß ein „höheres Zentrum", jener für viele Probleme der Wahrnehmung und Empfindung allzusehr beliebte „Zauberer", der das „Kaninchen aus dem leeren Hut ziehen muß", seine zweifellos wichtige Aufgabe nur erfüllen kann, wenn ihm die peripheren Apparate im richtigen Moment die richtigen „Stichworte" zukommen lassen. Aber gerade diese letzteren zu finden und verstehen zu lernen, sei die Aufgabe der Physiologen. Wie man das machen kann, hat er musterhaft gezeigt am Beispiel des Farbsehens. Ob das Modulatorgeschehen zu seinem Endergebnis im Nervenaktionsstrom dadurch führt, daß verschiedene Modulatoren einer einzelnen Faser zugehören oder aber verschiedenen Fasern, die streng synchronisiert arbeiten, bleibt vorläufig offen. Man kann aber etwa folgendes zum Stande der Dinge sagen: Der Scotopic-Dominator-Mechanismus vermittelt eine reine Helligkeitsempfindung, welche ihren quantitativen Ausdruck findet in der klassischen spektralen Empfindlichkeitskurve des Dämmerungssehens. Der Photopic-Dominator-Mechanismus vermittelt reine Helligkeitsempfindungen bzw. löst Signale in den Nervenfasern aus, welche so interpretiert werden. Erst ihre Modulation durch die Modulatoren-Reaktionen, für deren Auslösung aber jeweils ganz bestimmte Spektralbereiche nötig sind, ermöglichen den Zentralstellen zusätzliche Farbunterscheidungen. Für die Retina der Katze werden vom Autor gefundene Empfindlichkeitskurven eines Rot-, eines Grün- und eines Blau-Modulators abgebildet. Für das Auge des Menschen sind nach seiner Meinung die klassischen Vorstellungen des „trichromatischen" Sehens, die ja in mancher Hinsicht Kompromisse nötig machen, so z. B. bezüglich der „Sättigung" bei den Versuchen der Farbmischung, nicht mehr haltbar. Es gibt vielmehr einen reinen Helligkeits-Mechanismus (Photocip-Dominator), (der allerdings scheinbar nicht dem Heringschen Schwarz-Weiß-Mechanismus entspricht!!). Daneben gibt es Modulatoren-Mechanismen, und zwar nicht nur drei mit maximaler Empfindlichkeit im Blau, Grün und Rot. Der im Blau läßt sich in zwei im Blau und Violett dicht beisammenliegende, der im Rot in ebensolche zwei im Gelb und Rot auflösen. Die Anordnung der Farbunterschiedsempfindlichkeit im Spektrum läßt sich in der Tat bestechend gut mit solcher Anordnung der Modulatoren erklären. Auch viele Erscheinungen der Dichromasie sprechen befriedigend für Granit's Dominator-Modulator-Theorie des Farbsehens.

Das Buch ist nicht nur anregend, sondern, wenn man die Geschichte der unendlichen Bemühungen um die Physiologie des Sehens kennt, geradezu erregend, obwohl es nur nüchterne Tatsachen als Ergebnisse höchst mühevoller Experimentalarbeit mitteilt.

Göttingen. F. H. Rein.

Eingegangen am 3. Januar 1949.

Entwicklungs- u. Bewegungsphysiologie der Pflanze

Von **Dr. Erwin Bünning**, o. Professor an der Universität Tübingen

(Lehrbuch der Pflanzenphysiologie zweiter und dritter Band)

Mit 404 Abbildungen. XII, 464 Seiten. 1948. Halbleinen DMark 29,70

INHALTSÜBERSICHT:

ERSTER TEIL **Grundfragen**

I. Allgemeine Grundfragen. - II. Überblick von den Faktoren und ihren Wirkungen.

ZWEITER TEIL **Aktivitätswechsel**

I. Die zellphysiologischen Grundlagen wechselnder Aktionsbereitschaft. - II. Die Ursachen des Wechselns der Aktivität.

DRITTER TEIL **Wachstum, Zell- und Kernteilung**

I. Energetik des Wachstums. - II. Der Wachstumsverlauf. - III. Mechanismus des Wachstums. IV. Katalysatoren des Wachstums. - V. Kernwachstum, Kern- und Zellteilung.

VIERTER TEIL **Die inneren Faktoren der Differenzierung**

I. Elementare Wechselwirkungen zwischen Zellen und Zellbestandteilen. - II. Erbgleichheit und -ungleichheit der somatischen Zellen. - III. Inäquale Teilungen. - IV. Polarität. - V. Spontane Differenzierung und Musterbildung. - VI. Die Bedeutung autonomer Veränderungen für die Determination. - VII. Determination durch benachbarte Zellen und Gewebe. - VIII. Determinierende Hormone. - IX. Determination durch andere Substanzen. - X. Förderung und Hemmung durch hormonreiche Orte, Korrelationen. - XI. Die Stabilität der Determination. XII. Die Bildung spezifischer Formen aus den Zellen, Geweben und Organen.

FÜNFTER TEIL **Die Bewegungsmechanismen**

I. Beziehungen zwischen Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie. - II. Turgorbewegungen. III. Bewegungen durch negative Wandspannungen. - IV. Mechanismus der Bewegungen durch Plasmakontraktionen. - V. Bewegungen durch Ausnutzung von Oberflächenenergie. - VI. Mechanik der Plasmaströmung. - VII. Quellungsbewegungen.

SECHSTER TEIL **Die Wirkung äußerer Reize auf Bewegung und Entwicklung**

I. Grundprobleme der Reizwirkungen. - II. Wirkung mechanischer Reize. - III. Die Wirkung schädigender (energiereicher) Strahlenarten. - IV. Wirkung des sichtbaren Lichts und der angrenzenden Spektralbereiche. - V. Temperaturwirkungen. - VI. Die Wirkung des jahresperiodischen Wechsels äußerer Faktoren. - VII. Wirkung der Elektrizität. - VIII. Schwerkraftwirkungen. - IX. Wirkung chemischer Reize. - X. Bewegungen, bei denen die endonome Komponente stärker in den Vordergrund tritt. - XI. Einige allgemeine Probleme der pflanzlichen Reiz- und Bewegungsphysiologie.

Nachträge. - Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

SEIT JAHRZEHNTEN FÜHREND AUF ALLEN GEBIETEN DER RÖNTGENTECHNIK

MIKRO 60

der bewährte Apparat für röntgenografische

Feinstruktur-Untersuchungen

C.H.F.

C.H.F. MÜLLER
AKTIENGESELLSCHAFT
HAMBURG

SEIT JAHRZEHNTEN FÜHREND AUF ALLEN GEBIETEN DER RÖNTGENTECHNIK

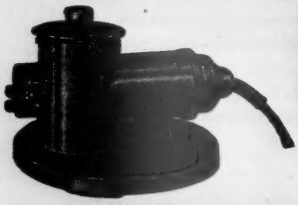
ZEISS
MIKROSKOPE

in bekannter Friedens-Ausführung wieder kurzfristig lieferbar

CARL ZEISS JENA

Lassen Sie sich bei uns vormerken

OPTIK CARL ZEISS JENA VEB



Lichtelektrisches
Becherglas-Kolorimeter
mit Reagenzglaseinsatz
kurzfristig lieferbar;

ebenso **Photoelemente, Luxmeter** und **Ultra-Relais.**

Dr. B. Lange, Bln.-Zehlendorf,
Hermannstr. 14/18 Tel.: 848122

DR. B. LANGE BERLIN

J.D. MÖLLER WEDEL/HOLST. GMBH.

Möller Wedel

JDEM SEIT 1864

MESSOPTIK
Linsen, Prismen, Plan- und Planparallel-Platten

HOCHLEISTUNGSSPIEGEL
plan und sphärisch, für Total- und Teilreflexion mit genauen Durchlässigkeitswerten, mechanisch und thermisch fest

KLEINSTSPIEGEL UND KLEINSTPRISMEN
in jeder Ausführung und in Meßoptikqualität

VERGÜTUNG OPTISCHER GLÄSER

KREIS- UND LÄNGS-PRÄZISIONSTEILUNGEN
Glaskreise, Okular- und Objektmikrometer

MESSGERÄTE
Kollimatoren, Dynameter, Gonio-Spektrometer, Spektroskope, Brennweitenmesser, Scheitelbrechweitmesser

Zu kaufen gesucht:
DIE NATURWISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCHE ANNALEN
MATHEMATISCHE ZEITSCHRIFT
ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK

alle in den Jahren 1939 bis 1945 erschienenen Bände und Hefte

BIOCHEMISCHE ZEITSCHRIFT
Band 14, 27 bis 29, 178, 267, 307, 308

Angebote mit Preisforderungen erbeten unter N. W. 85 an diese Zeitschrift

Integralgleichungen

Einführung in Lehre und Gebrauch

Von Dr. phil. **Georg Hamel**
o. Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin

Mit 19 Abbildungen im Text · Zweite, berichtigte Auflage
VIII, 166 Seiten · 1949 · DMark 15,60

Springer-Verlag / Berlin · Göttingen · Heidelberg

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung. - Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50. - Für den Anzeigenteil verantwortlich: Hans-Georg Halfter, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. - Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Springer-Verlag, Berlin und Göttingen. - Printed in Germany.